

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
30. Mai 2002 (30.05.2002)

PCT

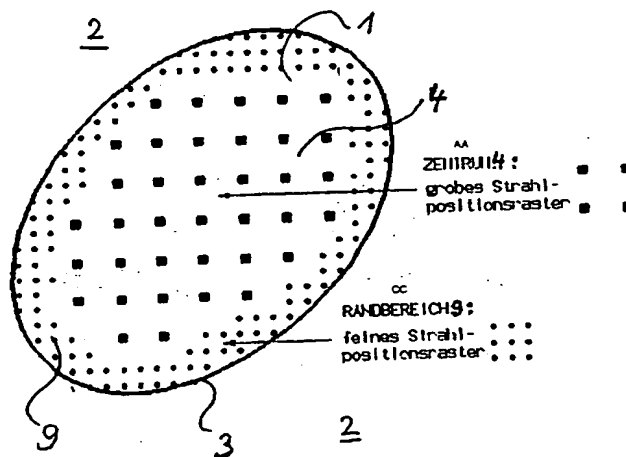
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/41948 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: A61N 5/10, (72) Erfinder; und  
G21K 5/04 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HABERER, Thomas  
[DE/DE]; Planckstr. 1, 64291 Darmstadt (DE). OTT,  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/13571 Wolfgang [DE/DE]; Planckstr. 1, 64291 Darmstadt (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 21. November 2001 (21.11.2001) (74) Anwälte: BOETERS, Hans, D. usw.; Boeters & Bauer,  
Bereiteranger 15, 81541 München (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
(30) Angaben zur Priorität: 100 57 824.1 21. November 2000 (21.11.2000) DE NL, PT, SE, TR).  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONEN-  
FORSCHUNG MBH [DE/DE]; Planckstr. 1, 64291  
Darmstadt (DE). Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR ADAPTING THE SIZE OF AN ION BEAM SPOT IN THE DOMAIN OF TUMOR IRRADIATION

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ANPASSUNG EINER IONENSTRAHLFLECKGRÖÖE IN DER TUMORBESTRAHLUNG



AA ... CENTER & ROUGH BEAM POSITION RASTER  
CC ... PERIPHERAL AREA & FINE BEAM POSITION RASTER

(57) Abstract: The invention relates to a device and method for adapting the size of an ion beam spot in the domain of tumor irradiation. To this end, the device comprises a raster scanning unit comprised of raster scanning magnets (20) for raster scanning the ion beam (19). In addition, the inventive device comprises quadrupole magnets (10), which are arranged directly in front of the raster scanning magnets (20) and which determine the size of the ion beam spot, and comprises two magnetic power supply units (18) for the quadrupole doublet of the quadrupole magnets (10) that determine the size of the ion beam spot. The device additionally comprises a closed loop, which is provided for obtaining current correction values by comparing set values and actual values of a present beam count for two magnetic power supply units (18) of the quadrupole doublet that is arranged directly in front of the raster scanning magnets (20), and which provides a defined homogenization and/or a defined variation of the size of the ion beam spot.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

Best Available Copy

WO 02/41948 A1



— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und eine Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung. Dazu weist die Vorrichtung eine Rasterscaneinrichtung aus Rasterscanmagneten (20) zur Rasterscannung des Ionenstrahls (19) auf. Darüber hinaus umfaßt die Vorrichtung Ionenstrahlfleckgröße bestimmende Quadrupolmagnete (10), die unmittelbar vor den Rasterscanmagneten (20) angeordnet sind, und schließlich zwei Magnetstromnetzgeräte (18) für das Quadrupoldoublett der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden quadrupolmagnete (10), wobei die Vorrichtung eine Regelschleife zur Gewinnung von Stromkorrekturwerten unter Vergleich und soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte (18) des unmittelbar vor dem Rasterscanmagneten (20) angeordneten Quadrupoldoubletts zur definierten Homogenisierung und/oder zur definierten Variation der Ionenstrahlfleckgröße aufweist.

## **Vorrichtung und Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße gemäß dem unabhängigen Verfahrensanspruch.

Aus dem Artikel von Th. Haberer, W. Becher, D. Schardt und G. Kraft "Magnetic scanning system for heavy ion therapy", erschienen in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A330 (1993), Seiten 206 - 305, ist eine Vorrichtung entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bekannt und ein intensitätsgesteuertes Rasterscanverfahren. Weiterhin ist aus der Patentanmeldung DE 198 35 209.3 "Vorrichtung und Verfahren zum Steuern einer Bestrahlungseinrichtung" eine Vorrichtung und ein Verfahren bekannt, daß auf einem Kontrollsystem basiert, das eine sichere Abtastung eines Tumervolumens eines Patienten mit Hilfe eines Rasterscanverfahrens ermöglicht. Diese Vorrichtung hat jedoch den Nachteil, daß die Ionenstrahlfleckgröße während und zwischen den Bestrahlungspunkten nicht ohne großen Aufwand einstellbar ist, so daß die Ionenstrahlfleckgröße wäh-

rend eines jeden Schnittes durch das Tumervolumen gleich breit bleibt und damit insbesondere im Randbereich keine scharfen Konturen zuläßt.

Aufgabe einer Weiterentwicklung dieses Kontrollsystems ist es, eine Erhöhung der geometrischen Präzision der Dosisapplikation und eine deutliche Steigerung der Robustheit des Verfahrens gegenüber Strahlpositionsschwankungen insbesondere auch im Hinblick auf den künftigen Einsatz von drehbaren Strahlführungen (Gantrys) mit integrierter Rasterscantechnik zu erreichen.

Die Größe der unvermeidbaren Strahlpositionsschwankungen aufgrund erschwerter ionenoptischer Bedingungen nimmt bei den drehbaren Strahlführungen (Gantrys) zu. Selbst wenn die Intensität des Therapiestrahls zwischen Maximalwert und Mittelwert um den Faktor 30 schwanken, soll und muß die Strahlpositionsschwankung des vom Beschleuniger gelieferten Therapiestrahls im Bereich von  $\pm 2$  mm liegen. Somit ist es auch Aufgabe der Erfindung, eine präzise Bestrahlungsplanung umzusetzen, so daß die aus der Gesamtbestrahlung resultierende Dosisverteilung im Mittel um weniger als 5 % von der geplanten Dosisverteilung abweicht.

Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Merkmale vorteilhafter Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Erfindungsgemäß weist die Vorrichtung zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung eine Rasterscaneinrichtung aus Rasterscanmagneten zur Rasterscannung des Ionenstrahls auf. Ferner sind Ionenstrahlfleckgröße bestimmende Quadrupolmagnete unmittelbar vor dem Rasterscanmagneten vorgesehen. Das Quadrupoldoublett der strahlgröÙbestimmenden

Quadrupolmagnete wird erfindungsgemäß von zwei Magnetstromnetzgeräten versorgt.

Bei einer bisher verwendeten Vorrichtung können während der Extraktion des Therapiestrahls aus einem geeigneten Beschleuniger wie einem Synchrotron zeitliche Veränderungen von ionenoptischen Parametern im Beschleuniger oder der nachfolgenden Strahlführung sowohl Strahlpositionsschwankungen als auch zeitliche Veränderungen der Strahlfleckgrößen verursachen. Während das Teilproblem der Strahlpositionsschwankungen zwischenzeitlich äußerst effektiv gelöst wurde, gibt es bisher kein Verfahren, die Strahlfleckgrößenschwankungen zu vermindern oder zu beherrschen.

Ziel einer Tumorionenbestrahlung ist es jedoch, möglichst exakte Teilchenbelegungen zu erzeugen, das heißt, innerhalb des Zielvolumens sollen die Abweichungen von der geplanten Dosisverteilung minimal werden, sind die Strahlbreitenvariationen nur in einem bestimmten Maß tolerabel, da sonst das geometrische Muster der Strahlpositionen, welches im Rahmen einer Bestrahlungsplanung vorher festgelegt wurde, nur für einen definierten Bereich der Strahlbreite ausreichend exakte Bestrahlungsergebnisse liefern kann.

Deshalb weist erfindungsgemäß die Vorrichtung eine Regelschleife auf, die Stromkorrekturwerte unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenauszahlung für zwei Magnetstromnetzgeräte des unmittelbar vor den Rasterscanmagneten angeordneten Quadrupoldoublets und eine definierte Homogenisierung und/oder eine definierte Variation der Strahlfleckgröße während der Strahlenextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition bereitstellt.

Die erfindungsgemäße Lösung hat den Vorteil, daß ein sinnvolles Verhältnis von Strahlprofilbreite zu Strahlpositionsabstand während der Bestrahlung eingehalten werden kann, und es ergeben sich damit homogene Dosisverteilungen, die den medizinischen Anforderungen genügen, wie sie in Figur 2 gezeigt werden.

Um eine derart homogene Strahlenverteilung zu erreichen, weist vorzugsweise die Vorrichtung eine Echtzeitsoftware auf zur Berechnung der Istwerte der Ionenstrahlbreite aus Detektorrohdaten. Darüber hinaus weist die Vorrichtung einen ortsempfindlichen Detektor zur Erfassung der Ionenstrahlbreite und zur Erzeugung von Detektorrohdaten der Ionenstrahlbreite auf. Ein Vorteil dieser Ausführungsform der Erfindung besteht darin, die Erzeugung sehr steiler Dosisgradienten am Rand des zu bestrahlenden Volumens durch die Variation der Ionenstrahlbreite zum Rand hin zu ermöglichen.

Die Strahlfleckgröße wird für einen steilen Randabfall zum Rand hin minimiert, so daß der Bereich dieses Dosisabfalls skaliert mit der Halbwertsbreite des Therapiestrahls möglich ist. Mit dieser Vorrichtung zur Regelung der Strahlfleckgröße ist der Vorteil verbunden, daß die Bestrahlungsdauer für den Patienten im Bestrahlungsraum in immobilisierter Lage des Patienten minimiert werden kann, indem eine große Ionenstrahlfleckgröße in weiten Bereichen des Tumorumfanges durchführbar ist und nur zum Rand hin, - um eine präzisere Nachzeichnung des Randes zu erhalten, - die Ionenstrahlfleckgröße vermindert und die Strahlpositionen pro Flächeneinheit verdichtet werden, wie es in Figur 3 gezeigt wird.

Die Dauer einer Bestrahlung und damit auch der Patientendurchsatz einer Anlage wird durch die verminderte Dichte der Strahlpositionen im Volumen des Tumors vermindert, da mit abnehmender Dichte der Strahlpositionen auch die Dauer der Bestrahlung ab-

nimmt. Somit wird vorteilhaft eine Verringerung der Bestrahlungsdauer durch die Möglichkeit der Strahlfleckgrößeneinstellung erreicht, weil weniger Strahlpositionen in größerem Abstand im Volumeninneren des Tumors geplant werden können. Um jedoch andererseits eine ausreichende Qualität der Teilchenbelegungen über dem Querschnitt des Tumors zu gewährleisten, wird bei gegebenem Strahlpositionsabstand eine Mindestbreite des Strahlflecks gefordert. Diese wiederum wird durch die erfindungsgemäße Vorrichtung gewährleistet.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung weist diese Steuer- und Auslesemodule und zugehörige Datenverbindungen auf, um Informationen über den Istwert von Ionenstrahlbreiten an ein Speicher-, Steuer- und Auslesem modul zu schicken und die Meßdaten zu speichern. Diese Ausführungsform der Erfindung hat den Vorteil, daß durch Zusammenwirken von Steuer- und Auslesem modul mit den Magnetstromnetzgeräten des Quadrupoldoublets der Ionenstrahlpunktgröße bestimmenden Quadrupolmagnete eine zügige Variation der Ionenstrahlfleckgröße gewährleistet werden kann.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das Auslesem modul eine Anzahl freier Schnittstellen und eine Rechenleistung auf, über welche die Nachführung der Ionenstrahlbreite ausführbar ist. Somit wird vorteilhaft die aus medizintechnischer Sicht verständliche Forderung eines steilen und präzisen Randabfalls bei minimaler Bestrahlungsdauer bezüglich der Bestrahlungsfleckgröße erreicht, was im derzeitigen Stand der Technik aufgrund der starren Ionenstrahlfleckgröße nicht erreichbar ist. Mit der Nachführbarkeit und Einstellbarkeit der Strahlfleckgröße und der Strahlfleckposition ergibt sich vorteilhaft eine dynamische Anpassung während der Bestrahlung eines Tumorumfanges, wodurch auch dem Bestrahlungsplaner eine erhöhte Flexibilität in der Festlegung des Strahlpositionsmusters

bereitgestellt wird und die Qualität der Dosisverteilung weiter gesteigert werden kann.

In einer alternativen Ausführungsform der Vorrichtung wird ein um ein Steuer- und Auslesem modul erweitertes Kontrollsystem bereitgestellt, wobei das zusätzliche Steuer- und Auslesem modul ausschließlich die Funktion der Ionenstrahlbreitenregelung ausführen kann. Mit dieser Ausführungsform wird die schnelle Adjustierung in Zeitintervallen möglich, die wesentlich kürzer als typische Beschleunigerzykluszeiten sind, erreicht.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Vorrichtung eine Regelschleife auf, die von einer Vieldrahtionisationskammer mit angeschlossenem Steuer- und Auslesem modul ausgeht und zu einem Steuer- und Auslesem modul führt, das Meßdaten zur graphischen Darstellung bereitstellt, und zwei Magnetstromgeräte zur horizontalen und vertikalen Fokussierung des Quadrupoldoublette unmittelbar vor dem Rasterscanmagneten ansteuert. Damit werden vorteilhaft korrigierte Feldeinstellungen erzeugt, welche den Fokussierzustand der Anlage verbessern. Die Regelung kann sowohl die Aufrechterhaltung einer konstanten Ionenstrahlfleckgröße während des Scanprozesses als auch die definierte Variation der Ionenstrahlfleckgröße gemäß dem Vorgang einer Bestrahlungsplanung in vorteilhafter Weise sicherstellen. Dabei wird die aus der Ortsmessung des Rasterscan-systems verfügbare Information zum zeitlichen Verlauf der Strahlbreite kombiniert mit der Fähigkeit des Kontrollsystems, Magnetstromnetzgeräte von Ionenstrahlfleckgröße beeinflussenden Magneten wie z.B. Quadrupolmagneten in schneller zeitlicher Abfolge mit neuen Sollwerten zu beaufschlagen, so daß aus dem aktuellen Vergleich von Soll- und Istwert der aktuellen Strahlausdehnung Stromkorrekturwerte für beide Magnetstromnetzgeräte eines Quadrupoldoubletts unmittelbar vor dem Rasterscanmagneten errechnet werden können.



Ein Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbehandlung wird durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet:

- dynamisches Anpassen der Ionenstrahlfleckgröße in Echtzeit unter
- Beaufschlagen des Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnetes mit Sollwerten für unterschiedliche Ionenstrahlfleckgröße innerhalb eines Beschleunigungszyklus und/oder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Beschleunigungszyklen und/oder zwischen benachbarten Strahlpositionen mittels einstellbarer Frequenz,
- Gewinnung von Stromkorrekturwerten unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte des Quadrupoldoublets der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagneten zur definierten Homogenisierung und/oder zur definierten Variation der Ionenstrahlfleckgröße während der Strahlextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition,
- Bestrahlen eines Tumorgewebes mit einem dichteren Ionenstrahlpositionsraaster bei gleichzeitig geringerer Ionenstrahlfleckgröße im Randbereich als im Volumenbereich des Tumors.

Somit verbessert das erfindungsgemäße Verfahren das früher beschriebene Rasterscanverfahren in mehreren Aspekten. Durch die Möglichkeit, die Ionenstrahlfleckgröße in Echtzeit einzustellen, kann die Qualität der vom Rasterscanner erzeugten Teilchenbelegungen gesteigert werden, indem die aktuelle Strahlbreite aktiv an die Vorgaben der Bestrahlungsplanung durch ein Regelungsverfahren angepaßt wird. Hierdurch kann die geometrische Dichte der Strahlpositionen gegenüber dem bisherigen Bestrahlungsmodus verringert werden, zumal bisher eine Reserve

vorbehalten werden mußte, um die stets vorkommenden Schwankungen der Strahlbreite auszugleichen. Das erfindungsgemäße Regelungsverfahren, welches diese Schwankungen minimiert, eröffnet die Möglichkeit, eine geringere Zahl an Strahlpositionen zu planen, dies führt zu kürzeren Bestrahlungszeiten und einem höheren Patientendurchsatz.

In einem bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird die Strahlhalbwidthsbreite dem Ionenstrahlpositionsrastraster in der Weise angepaßt, daß bei feinem Ionenstrahlpositionsrastraster im Randbereich eine geringere Strahlhalbwidthsbreite eingestellt wird als im Volumenbereich des Tumors mit einem groben Ionenstrahlpositionsmuster. Damit lassen sich vorteilhaft im Randbereich präzisere Abgrenzungen zwischen Tumorgewebe und gesundem Gewebe erzielen, da gleichzeitig die Strahlhalbwidthsbreite geringer und damit schärfer eingestellt wird als im Volumenbereich des Tumors. Durch die größere Strahlhalbwidthsbreite im Volumenbereich des Tumors mit einem groben Ionenstrahlmuster kann vorteilhaft die Gesamtzahl der Strahlpositionen pro Isoenergieschnitt, das heißt pro Bestrahlungsebene, vermindert werden und damit die Strahlbehandlungszeit verringert werden. Andererseits wird der Dosisgradient am Rand des Tumorgewebes sehr steil und somit eine präzise Abgrenzung zwischen Tumorgewebe und gesundem Gewebe sichergestellt.

Ein weiteres bevorzugtes Durchführungsbeispiel des Verfahrens sieht vor, daß für jeden Meßzyklus eine Echtzeitsoftware in einem Steuer- und Auslesem modul einer Violdrahtionisationskammer den Istwert der Ionenstrahlbreite aus den Detektorrohdaten der Violdrahtionisationskammer errechnet. In diesem Fall wird ein Verfahren vorzugsweise durchgeführt, bei dem die Strahlhalbwidthsbreite von Meßzyklus zu Meßzyklus variiert und eingestellt wird, wobei die Strahlhalbwidthsbreitenberechnung über die Erfassung von Detektorrohdaten einer Violdrahtionisationskammer

erfolgt. Eine derartige Echtzeitsoftware hat zwischen Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder zwischen benachbarten Strahlpositionen genügend Zeit, um die entsprechenden Einstelldaten neu und angepaßt zu berechnen.

In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens werden Informationen der Strahlbreite an ein Modul zum Speichern der Meßdaten sowie zum Steuern und Auslesen geliefert. Dieses Modul kann einerseits dafür dienen, daß die Rohdetektordaten zunächst gespeichert und von Strahlposition zu Strahlposition oder von Meßzyklus zu Meßzyklus neu korreliert werden.

In einem weiteren Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird ein Modul zum Speichern, Steuern und Auslesen der Istwerte der Ionenstrahlfleckgröße mit der Information über den Sollwert der Ionenstrahlfleckgröße aus einem Bestrahlungsplan in Echtzeit verglichen. Mit einem derartigen Modul kann die Ionenstrahlfleckgröße nicht nur zwischen Meßzyklus und Meßzyklus und/oder zwischen Strahlposition zu Strahlposition erfaßt und variiert werden, sondern noch während und innerhalb einer Strahlextraktion variiert werden. Dazu wird in einem weiteren Durchführungsbeispiel des Verfahrens ein Korrekturwert für Magnetnetzgeräte der Quadrupoldoublette der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnete einer Hochenergiestrahlungsführung unmittelbar vor dem Rasterscanner ermittelt und entsprechend eingestellt.

Wird in einem weiteren Durchführungsbeispiel des Verfahrens von Meßzyklus zu Meßzyklus gearbeitet, so kann ein Ortsmeßsystem von einer Ionenstrahlposition im Strahlungsplan zur nächsten Ionenstrahlposition eine Korrektur und Neueinstellung durchführen. Diese Neueinstellung wird zunächst durch ein Einstellen der Frequenz einer Nachführung des Ionenstrahl bereits in Form

eines Parameters einer Echtzeitsoftware vorgegeben, welche die Korrekturwerte für die Quadrupoldoublette ermittelt und durchführt. Auch die Dämpfung der Ionenstrahlbreite ist analog zur Frequenz der Anpassung über einen Parameter einstellbar. Schließlich können Schwellenwerte für die Ionenstrahlbreite in bezug auf maximale und minimale Ionenstrahlbreite festgelegt werden, um Fehlanpassungen von vorneherein auszuschließen.

Somit betrifft das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Nachregelung der Strahlbreite in Echtzeit. Hierzu wird die aus der Ortsmessung des Rasterscan-systems verfügbare Information zum zeitlichen Ablauf der Strahlbreite kombiniert mit der Fähigkeit des Kontrollsystems, Magnetstromnetzgeräte von Ionenstrahlfleckgröße beeinflussenden Magneten wie Quadrupolmagneten in schneller zeitlicher Abfolge mit neuen Sollwerten zu beaufschlagen. Hierdurch wird eine Regelschleife aufgebaut, welche es ermöglicht, aus dem Vergleich von Soll- und Istwerten der aktuellen Strahlausdehnung Stromkorrekturwerte für die beiden Magnetstromnetzgeräte des Quadrupoldoubletts unmittelbar vor den Rasterscanmagneten zu errechnen und somit korrigierte Feldeinstellungen zu erzeugen, welche den Fokussierzustand einer Ionenstrahltherapieanlage verbessern. Somit kann sowohl die Regelung für eine konstante Ionenstrahlfleckgröße sorgen und zuverlässiger während des Scanprozesses beibehalten werden als auch definierte Variationen der Ionenstrahlfleckgröße gemäß den Vorgaben einer wesentlich flexibler gestaltbaren Bestrahlungsplanung durchgeführt werden.

Figur 1 zeigt ein Beispiel für eine inhomogene Dosisverteilung bei zu geringer Strahlhalbwertsbreite.

Figur 2 zeigt ein Beispiel für eine homogene Dosisverteilung bei ausreichender Strahlhalbwertsbreite.

Figur 4 zeigt eine Ausführungsform eines Bestrahlungssystems, in dem die erfindungsgemäße Vorrichtung einsetzbar ist.

Figur 5 zeigt einen Datenflußplan eines Ausführungsbeispiels der Erfindung.

Figur 1 zeigt ein Beispiel für eine inhomogene Dosisverteilung bei zu geringer Strahlhalbwertsbreite. Dazu ist in Figur 1 ein Koordinatensystem in X-, Y- und Z-Richtung aufgepannt, wobei die Einheit für die X- und die Y-Achse Millimeter sind und in Richtung der Z-Achse die Strahlendosis aufgetragen ist. Figur 1 illustriert die Auswirkung einer nicht mit Vorgaben einer Strahlungsplanung konformen Strahlprofilbreite auf die Homogenität der Dosisverteilung. An den in Z-Richtung herausragenden Maxima von Bestrahlungsdosen ist eine für eine Tumorbestrahlung nicht vertretbare Inhomogenität zu erkennen.

Im Prinzip ist die Strahlprofilbreite im Verhältnis zu den Strahlungspositionsabständen zu schmal oder umgekehrt, die Strahlungspositionsabstände sind für die eingestellte Strahlprofilbreite zu groß. Ein wesentliches Ziel der Strahlapplikation wird somit nicht erreicht, nämlich die Erzeugung von möglichst exakter Teilchenbelegung, das heißt, innerhalb des Zielvolumens sollen die Abweichungen von der geplanten Dosisverteilung minimal sein, und somit ergibt sich für die in Figur 1 eingestellte Strahlprofilbreite eine Bestrahlungsinhomogenität, und die Vorgaben der Bestrahlungsplanung können nicht eingehalten werden.

Figur 2 zeigt ein Beispiel für eine homogene Dosisverteilung bei ausreichender Strahlhalbwertsbreite. In Figur 2 ist wieder ein X-, Y- und Z-Koordinatensystem dargestellt mit einer Millimetereinteilung in der X- und der Y-Achse sowie eine Dosisgröße in Richtung der Z-Achse. Bei dieser Ausführungsform wird ein sinnvolles Verhältnis von Strahlprofilbreite zu Strahlpositionsabstand während der Bestrahlung eingehalten, so daß sich eine homogene Dosisverteilung, die den medizinischen Anforderungen genügt, im Tumervolumen ergibt und ein relativ steiler Abfall zum Rand der Bestrahlung erreichbar wird. Dazu muß jedoch ein wesentlich geringerer Strahlpositionsabstand und damit wesentlich mehr Strahlpositionen in Figur 2 geplant werden als in Figur 1, so daß die Behandlungszeit in Figur 2 um ein Vielfaches größer wäre als die Behandlungszeit in Figur 1. Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung kann jedoch die Strahlbreite von Strahlposition zu Strahlposition variiert werden, so daß mit größer werdendem Strahlpositionsabstand die Strahlprofilbreite breiter eingestellt werden kann und zum Rand hin der Strahlpositionsabstand verringert werden kann bei gleichzeitiger Verringerung der Strahlprofilbreite.

Somit können durch die erfindungsgemäße Vorrichtung wesentlich homogenisiertere Dosisverteilungen wie sie Fig. 2 zeigt erreicht werden und gleichzeitig die Anzahl der Strahlpositionen pro Isoschnitt durch ein Tumorgewebe vermindert werden, und zum Rand des Tumorgewebes hin der Strahlpositionsabstand vermindert und gleichzeitig die Strahlprofilbreite verkleinert werden, wie es Fig. 3 zeigt, so daß ein steiler Randabfall und eine präzise Abgrenzung zum gesunden Gewebe möglich wird.

Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Strahlpositionsverteilung, die durch Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich wird. Die erfindungsgemäße Vorrichtung erlaubt eine Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung mit

einer Rasterscaneinrichtung aus Rasterscanmagneten zur Rasterscannung des Ionenstrahls, mit Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagneten, die unmittelbar vor den Rasterscanmagneten angeordnet sind, mit zwei Magnetstromnetzgeräten des Quadrupoldoublets der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnete, wobei die Vorrichtung eine Regelschleife aufweist, die Stromkorrekturwerte bereitstellt unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte des unmittelbar vor den Rasterscanmagneten angeordneten Quadrupoldoublets und eine definierte Homogenisierung und/oder eine definierte Variation der Ionenstrahlfleckgröße während der Strahlextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition ermöglicht.

Figur 3 zeigt dazu ein Tumorgewebe 1 umgeben von einem gesunden Gewebe 2 und einen scharf abgegrenzten Rand 3, der das Grenzgewebe zwischen Tumorgewebe 1 und gesundem Gewebe 2 darstellt. Mit der oben erwähnten erfindungsgemäßen Vorrichtung wird die Strahlprofilbreite im Zentrum 4 des Tumorgewebes größer eingestellt als im Randbereich 9 des Tumorgewebes 1. Dafür wird im Randbereich 9 ein feines Strahlpositionsraster vorgesehen, das in dieser Ausführungsform eine vierfache Flächendichte im Randbereich 9 gegenüber der Flächendichte im Zentrum 4 aufweist.

Aufgrund der erfindungsgemäßen Strahlbreitenregelung, die unmittelbar auf die vor den Rasterscanmagneten angeordneten Quadrupoldoublets, sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung einwirkt, ist es möglich, trotz des groben Strahlpositionsrasters im Zentrum 4 des Tumorgewebes eine Homogenisierung der Dosisverteilung zu realisieren und gleichzeitig eine homogene Dosisverteilung auch im Randbereich 9 zu erreichen mit wesentlich präziserer Abgrenzung des Randbereichs des Tumorgewebes 1 gegenüber dem gesunden Gewebe 2 aufgrund der An-

passung von Strahlposition zu Strahlposition der Ionenstrahlfleckgröße während der Bestrahlung. Diese Anpassung kann nicht nur von Strahlposition zu Strahlposition durchgeführt werden, sondern auch von Meßzyklus zu Meßzyklus und zur Stabilisierung der Dosisverteilung auch während der Strahlextraktion erfolgen. Dazu ist eine zusätzliche Regelschleife zwischen einem Steuerungs- und Auslesem modul und Magnetnetzgeräten für horizontale und vertikale Quadrupole vorgesehen, die unmittelbar vor dem Scanmagneten angeordnet sind.

Somit wird zur Bestrahlung diese Isoenergieschnittes im Randbereich ein schmaler Ionenstrahlfleck auf einem engen Strahlpositions raster und im Zentrum ein großer Strahlfleck auf einem groben Strahlpositions raster durchgeführt. Hierdurch kann vorteilhaft die Gesamtzahl der Strahlpositionen pro Isoenergiequerschnitt und damit die Bestrahlungsdauer deutlich herabgesetzt werden, und der Dosisgradient am Rand sehr steil bei der Vorgabe der Bestrahlungsplanung gewählt werden.

Figur 4 zeigt eine Ausführungsform eines Bestrahlungssystems, in dem die erfindungsgemäße Vorrichtung einsetzbar ist. Dabei wird die Steuerung und Überwachung des Bestrahlungssystems durch ein komplexes elektronisches System gewährleistet.

Das Steuerungs- und Überwachungssystem setzt sich aus drei Ebenen zusammen, nämlich einer Ablaufsteuerung 5, einer Systemkontrolle 6 und einer Bedienerführung 7. Diese arbeiten unabhängig voneinander. Verteilt über alle drei Ebenen ist ein Sicherheitssystem 8 realisiert, welches eine sofortige Abschaltung des Strahls im Falle einer Störung im System gewährleistet.

Die Ablaufsteuerung 5 erlaubt einen Zugriff von der Bedienerführung 7 nur bei der Initialisierung beim Start und beim Notstop. Während der Bestrahlung agiert die Ablaufsteuerung 5 au-



tomatisch. Sie erfüllt neben den Steuerungsaufgaben auch Sicherheitsfunktionen, indem die gemessenen Daten mit den Vorgaben des Bestrahlungsplanes verglichen werden und bei Abweichung oberhalb festgelegter Grenzen zur Abschaltung des Strahls führen.

Die Systemkontrolle 6 erlaubt die Einstellung der Betriebsparameter, zum Beispiel der Detektorspannung. Des weiteren überwacht die Systemkontrolle 6 "langsam" ablaufende Vorgänge durch Auslesen einer Vielzahl von Systemzuständen und schaltet gegebenenfalls den Strahl ab.

Die Bedienerführung 7 ermöglicht dem Bediener die Interaktion mit dem Steuerungs- und Überwachungssystem. Von hier aus werden Bestrahlungspläne in die Ablaufsteuerung 5 geladen, Bestrahlungen gestartet, gestoppt oder unterbrochen, Bedieneraktionen und Systemparameter protokolliert, der Bestrahlungsvorgang und der Systemzustand anhand der Meßdaten visualisiert und die gemessenen Daten zu Dokumentszenen archiviert.

Das Steuerungs- und Überwachungssystem ist als VME-Umgebung realisiert und weist Bedienungseinrichtungen wie Ein-/Ausgabegeräte (Terminals) sowie eine Rechanlage bestehend aus mehreren Einzelrechnern mit den üblichen Peripheriegeräten auf. Die Einrichtungen zur Überwachung des Strahls bezüglich Ort, Breite und Intensität sowie die Einrichtung zur Anforderung und Ablenkung des Strahls sind über Busleitungen an die VME-Umgebung gekoppelt.

Das von der Ablaufsteuerung 5 unabhängig arbeitende Sicherheitssystem überwacht den Betragsstrahlungsvorgang während der gesamten Dauer der Bestrahlung. Es unterbricht den Bestrahlungsvorgang selbsttätig, wenn infolge einer Fehlfunktion die Ablenkung des Strahles fehlerhaft ist oder die Teilchenzahl,

für einen Punkt für eine Schicht oder die insgesamt aufgebraachte Teilchenzahl überschritten wird. Hierbei kann die Ursache einer Fehlfunktion bereits in der Strahlerzeugung liegen oder in der Ablaufsteuerung 5 begründet sein, wobei die Ablaufsteuerung 5 jedoch Selbstkontrollmittel zur Unterbrechung des Bestrahlungsvorgangs aufweist.

Die Ablaufsteuerung 5 weist Schaltungsmodule (Steuerungs- und Auslesemodule 11 - 17) auf, die durch einen gemeinsamen Systembus mit den Bedienungseinrichtungen verbunden sind. Der Systembus ist als VME-Bus ausgebildet.

Jedes der Steuerungsmodule 11 bis 17 ist jeweils durch einen separaten Gerätebus mit einer Meßeinrichtung (wie Ionisationskammer, Violdrahtkammer usw.) bzw. mit einer externen Speichervorrichtung 27 verbunden. Die Gerätebusse sind von dem Systembus unabhängig. Das mit Figur 4 gezeigte Blockschaltbild gehört somit zu einem Kontrollsystem für eine Ionenstrahltherapieanlage.

Das Kontrollsystem für eine Ionenstrahltherapieanlage besteht somit im wesentlichen aus einem technischen Kontrollraum (TKR), in dem auf einer Beschleuniger-Operating-Konsole alle Beschleunigerdaten des Ethernet auflaufen und Ethernet-Router-Daten an die nächste größere Einheit des Kontrollsystems für eine Ionenstrahltherapieanlage der technischen Operatingkonsole in der Therapie selbst weitergeleitet wird. Das zentrale Gerät dieser technischen Operating-Konsole ist der Therapie-Operating-Rechner (TORT), der einen Barcodeleser (BCL) aufweist und der über das Therapie-Ethernet mit dem Bedienungselement der Terminals in Verbindung steht. Die technische Operating-Konsole im Therapiebereich verfügt über eine medizinische Bedienkonsole (MBDK), die mit einem Therapiebereich (Cave M) in Verbindung steht und über eine unmittelbare Verbindung zum Auslösen eines

Strahlabbruchs des Beschleunigers verfügt. Zum Strahlabbruch wird ein Resonanzquadrupol (S02IQ1E) für die langsame Extraktion des Strahls über sein Netzgerät über eine Interlockeinheit in dem Bussystem des Therapiekontrollsystems auf Null gesetzt. Ein Ablenktdipolmagnet (TH3MU1) der Strahlführung zum Therapie-meßplatz wird ebenfalls zum Strahl- oder Extraktionsabbruch in einem Fehlerfall durch die Interlockeinheit (ILE) in dem Bussystem (VME) des Therapiekontrollsystems auf Null gesetzt.

Für die Systemkontrolle (VMESK) an sich wirken mehrere Mikroprozessoren auf einem Bussystem-Verbindungsrahmen (VME-Crate) zusammen. Dazu gehört neben dem oben erwähnten und in Figur 4 dargestellten Datenspeicher (ODS) für eine Online-Anzeige ein Intensitätsmonitor (IMON), der unter anderem mit einer Ionisationskammer und der Ausleseelektronik zur Überwachung der Gesamtteilchenzahl zusammenwirkt. Darüber hinaus befindet sich in der Systemkontrolle eine Trottmann-Schaltungseinheit (TME) zur Überwachung der Funktionsfähigkeit der Prozessoren. Neben der bereits erwähnten Interlockeinheit (ILE) und einem Kontrollbusadapter (KBA) verfügt die Systemkontrolle über ein Analog-/Digitalmodul (ADIO) und einen Systemkontrollrechner (SKR) in dem Bussystem (VME) der Systemkontrolle.

Die Komponenten der Ablaufsteuerung (VMEAS) sind identisch mit den Komponenten des in Figur 5 gezeigten Datenflußplans, wobei die Ablaufsteuerung in dem in Figur 4 gezeigten Kontrollsystem zusätzlich ein digitales Eingangs-/Ausgangsmodul (DIO) und einen Ablaufsteuerungsrechner (ASR) aufweist. Im Therapiebereich (Cave M) befindet sich ein Positron-Emitter-Tomograph (PET) zur räumlichen Bestimmung der Teilchenreichweite durch Positronen emittierende Strahlung, mit der die Bestrahlungswirkung auf einen Patienten auf der Patientenliege nachgewiesen werden kann.

Die Ionenstrahlführung in den Therapiebereich (Cave M) hinein wird im unteren Bereich der Figur 4 prinzipiell dargestellt, wobei der Strahl für die örtliche Abtastung durch Scannermagnete für X und Y geführt wird, die mit Hilfe von Magnetstromnetzgeräten (MGM) des Rasterscanners den Strahl horizontal (X) und (Y) ablenken.

Nach dem Verlassen des Strahls nach dem letzten nichtgezeigten Ablenkungsmagneten wird der Strahl noch vor der Patientenliege durch eine Mehrzahl von Detektoren geführt, wobei eine Regelschleife über einen ersten ortsempfindlichen Detektor (MWPC1) auf die Magnetstromnetzgeräte (MGM) des Rasterscanners für dessen Scannermagnete wirkt, so daß die Strahlposition durch Nachführung von Strahlposition zu Strahlposition korrigiert werden kann oder durch Nachführen von Meßzyklus zu Meßzyklus oder innerhalb einer einzelnen Strahlposition während der Strahlextraktion korrigiert werden kann.

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird nun zusätzlich eine Regelschleife für das Quadrupoldoublett unmittelbar vor den Rasterscanmagneten für die horizontale (X) und die vertikale (Y) Richtung eingesetzt, wobei die Magnetstromnetzgeräte 18 des Quadrupoldoubletts für die horizontale und vertikale Richtung entsprechend angesteuert werden, indem eine Regelschleife Stromkorrekturwerte unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte 18 des unmittelbar vor dem Rasterscanner angeordneten Quadrupoldoubletts bereitstellt. Somit stellt dieser Hardwareüberblick eine weitere vorteilhafte Weiterentwicklung des Systems dar, wobei die wesentliche Neuerung in dem erfindungsgemäßen Strahlungssystem die Hinzunahme dieser Regelschleife ausgehend von der Vieldrahtionisationskammer (MWPC1) mit angeschlossenem Steuer- und Auslesemodul (SAM01) zum Steuer- und Auslesemodul (SAMD), welches die Meßdaten zur graphischen Darstellung be-

reitstellt und die Magnetstromnetzgeräte 18 des Quadrupol-doublets unmittelbar vor den Rasterscanmagneten ansteuert, wodurch die Echtzeitnachregelung der Strahlbreite ermöglicht wird.

Figur 5 zeigt einen Datenflußplan eines Ausführungsbeispiels der Erfindung. Dabei dient der oberste Mikroprozessor in dem Ablaufsteuersystem (VMEAS) als Steuer- und Auslesem modul (SAMD) zur Online-Datenübertragung in den Datenspeicher (ODS) in der sich anschließenden und auf der rechten Seite der Bildhälfte der Figur 5 abgebildeten Systemkontrolle. Dieses Steuer- und Auslesem modul (SAMD) zur Online-Datenübertragung ist mit dem Datenspeicher (ODS) für eine Online-Anzeige über den Gerätebus verbunden, der ein differentieller Datenbus zwischen den Steuer- und Auslesemodulen und deren jeweiliger Front-End-Elektronik ist.

Der Datenspeicher (ODS) für eine Online-Anzeige liefert seine Daten entsprechend dem Datenflußplan nach Figur 5 über den Bus der Systemkontrolle (SK) und den Systemkontrollrechner in dem Bussystem (VME) zur Verbindung von Prozessoren und Datenmodulen einerseits an das Display und andererseits an das Ethernet unter Führung des Betriebssystems (AEX) in der Systemkontrolle.

In der Ausführungsform nach Figur 5 weist das Regelsystem in der Ionenstrahltherapie mindestens eine Ionisationskammer (IC1) auf, die der Intensitätsmessung des Ionenstrahls dient und die Ionenstrahlteilchenzahl aufaddiert, bis die Dosis für eine Strahlposition erreicht ist, so daß dann ein Befehl an den Steuer- und Auslesem modul (SAMP) für die Pulszentrale gegeben werden kann, die über die Pulszentralansteuerung (PZA) die Weicherschaltung auf die nächste Strahlposition veranlaßt, die dann über die Echtzeit-Nachregelungsschleife an die Magnetstromnetzgeräte (MGN) des Rasterscanners weitervermittelt wird. Das

Steuer- und Auslesem modul (SAM11) ist schaltungs- und ablauf-technisch innerhalb der Ablaufsteuerung (VMEAS) vor dem Steuer- und Auslesem modul (SAM01) des ortsempfindlichen Detektors (MWPC1) angeordnet. Dieser Datenflußplan der Figur 5 zeigt somit ein Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Dabei sind innerhalb der Echtzeitsteuerung (VME-Crate) des Systems eine Reihe von Steuer- und Auslesem odulen (SAM) über Schnittstellen miteinander verbunden. Für das erfindungsgemäße Ausführungsbeispiel einer Regulationsanordnung sind die beiden SAMs relevant, welche den Ortsmeßdetektor 1 (SAM01) steuern und auslesen und das Modul zur Speicherung der Meßdaten (SAMD). Die Regelschleife geht von der Vieldrahtionisationskammer (MWPC1) mit angeschlossenem Steuer- und Auslesem odul (SAM01) zum Steuer- und Auslesem odul (SAMD), die dazwischenliegenden SAM-Module dienen lediglich dem Datentransfer von dem SAM01 zum SAMD. Letzteres verfügt sowohl über genügend freie Schnittstellen als auch über genügend Rechenleistung, um die Nachführung der Ionenstrahlbreite auszuführen.

Generell besteht bei diesem modular aufgebauten Kontrollsystem auch die Möglichkeit, ein nicht gezeigtes zusätzliches Steuer- und Auslesem odul in die Steueranordnung zu integrieren, welches ausschließlich die Funktion der Breitenregelung erfüllt. Die Kapazität der dargestellten Anordnung reicht jedoch vollständig aus, um die Zusatzaufgabe einer Breitenregelung des Ionenstrahls in Zusammenwirken mit den Magnetnetzgeräten 18 und einer Regelschleife zwischen dem SAMD, dem SAM01 und den Magnetnetzgeräten 18 der horizontalen und vertikalen Quadrupolmagneten 10 zu übernehmen.

**Bezugszeichenliste**

1	Tumorgewebe
2	gesundes Gewebe
3	Rand des Tumorgewebes
4	Zentrum des Tumorgewebes
5	Ablaufsteuersystem
6	Systemkontrolle
7	Bedienerführung
8	Sicherheitssystem
9	Randbereich
10	Quadrupolmagnete zur Horizontal- und Vertikal- Fokussierung
11 - 17	Steuerungs- und Auslesemodule
18	Magnetnetzgeräte
19	Ionenstrahl
20	Rasterscanmagnete
27	ODS (Datenspeicher)
28	SKR (Systemkontrollrechner)

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung mit
  - einer Rasterscaneinrichtung aus Rasterscanmagneten (20) zur Rasterscannung des Ionenstrahls (19),  
**dadurch gekennzeichnet, daß**
  - die Ionenstrahlfleckgröße bestimmende Quadrupolmagnete (10), unmittelbar vor den Rasterscanmagneten (20) angeordnet sind, und die Vorrichtung
  - zwei Magnetstromnetzgeräte (18) des Quadrupoldoublets der die Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnete (10) aufweist, sowie
  - eine Regelschleife (21) aufweist, die Stromkorrekturwerte unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenauszahlung für zwei Magnetstromnetzgeräte (18) des unmittelbar vor den Rasterscanmagneten (20) angeordneten Quadrupoldoublets, und eine definierte Homogenisierung und/oder eine definierte Variation der Strahlfleckgröße während der Strahlextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition bereitstellt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung eine Echtzeitsoftware aufweist zur Berechnung der Istwerte der Ionenstrahlbreite aus Detektorrohdaten.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung einen ortsempfindlichen Detektor (MWPC1) zur Erfassung der Ionenstrahlbreite und zur Erzeugung von Detektorrohdaten aufweist.



4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung Steuer- und Auslesemodule (SAM01 und SAMD) und zugehörige Datenverbindungen aufweist, um Informationen über den Istwert von Ionenstrahlbreiten an ein Speicher-, Steuer- und Auslesem modul (SAMD) zur Speicherung der Meßdaten zu schicken.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Auslesem modul (SAMD) eine Anzahl freier Schnittstellen und eine Rechenleistung aufweist, über welche die Nachführung der Ionenstrahlbreite ausführbar ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung ein um ein Steuer- und Auslesem modul erweitertes Kontrollsystem aufweist, wobei durch das zusätzliche Steuer- und Auslesem modul ausschließlich die Funktion der Ionenstrahlbreitenregelung durchführbar ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung eine Regelschleife aufweist, die von einer Vieldrahtionisationskammer (MWPC1) mit angeschlossenem Steuer- und Auslesem modul (SAM01) ausgeht und zu einem Steuer- und Auslesem modul (SAMD) führt, das Meßdaten zur graphischen Darstellung bereitstellt und zwei Magnetstromnetzgeräte (18) zur horizontalen und vertikalen Fokussierung des Quadrupoldoublets unmittelbar vor den Rasterscanmagneten (20) ansteuert.

8. Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbehandlung, **gekennzeichnet durch** die Verfahrensschritte:

- dynamische Anpassung der Strahlfleckgröße in Echtzeit unter
- Beaufschlagen des strahlgrößenbestimmenden Quadrupolmagneten (10) mit Sollwerten für unterschiedliche Ionenstrahlgrößen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Beschleunigerzyklen oder innerhalb eines Beschleunigungszyklus mittels einstellbarer Frequenz,
- Gewinnung von Stromkorrekturwerten unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte (18) des Quadrupoldoublets der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagneten (10) zur definierten Homogenisierung und/oder zur definierten Variation der Ionenstrahlfleckgröße während der Strahlextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition,
- Bestrahlen eines Tumorgewebes (1) mit einem dichteren Ionenstrahlpositionsraster bei gleichzeitig geringerer Ionenstrahlfleckgröße im Randbereich (3) als im Volumenbereich (4) des Tumors.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strahlhalbwertsbreite dem Ionenstrahlpositionsraster in der Weise angepaßt wird, daß bei feinem Ionenstrahlpositionsraster im Randbereich (3) eine geringere Strahlhalbwertsbreite eingestellt wird, als im Volumenbereich (4) des Tumors mit einem groben Ionenstrahlpositionsmuster.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß für jeden Meßzyklus eine Echtzeitsoftware in

einem Steuer- und Auslesem modul (SAM01) einer Violdrahtionisationskammer (MWPC1) den Istwert der Ionenstrahlbreite aus den Detektorrohdaten der Violdrahtionisationskammer (MWPC1) errechnet.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß Informationen der Strahlbreite an das Modul (SAMD) zum Speichern der Meßdaten sowie zum Steuern und Auslesen geliefert werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß in dem Modul (SAMD) zum Speichern, Steuern und Auslesen der Istwert der Ionenstrahlfleckgröße mit der Information über den Sollwert der Ionenstrahlfleckgröße aus einem Bestrahlungsplan in Echtzeit verglichen wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Korrekturwert für Magnetnetzgeräte (18) der Quadrupoldoublette der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnete (10) einer Hochenergiestrahlung unmittelbar vor dem Rasterscanner ermittelt und eingestellt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß von Meßzyklus zu Meßzyklus eines Ortsmeßsystems und von einer Ionenstrahlposition im Bestrahlungsplan zur nächsten Ionenstrahlposition eine Korrektur oder Neueinstellung erfolgt.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Einstellen der Frequenz für eine Nachführung der Ionenstrahlbreite in Form eines Parameters

einer Echtzeitsoftware, welche die Korrekturwerte für das Quadrupoldoublett ermittelt, durchgeführt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Nachführung der Ionenstrahlbreite einstellbar gedämpft wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß Schwellenwerte für die Ionenstrahlbreite festgelegt werden.

1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000

Fig. 1

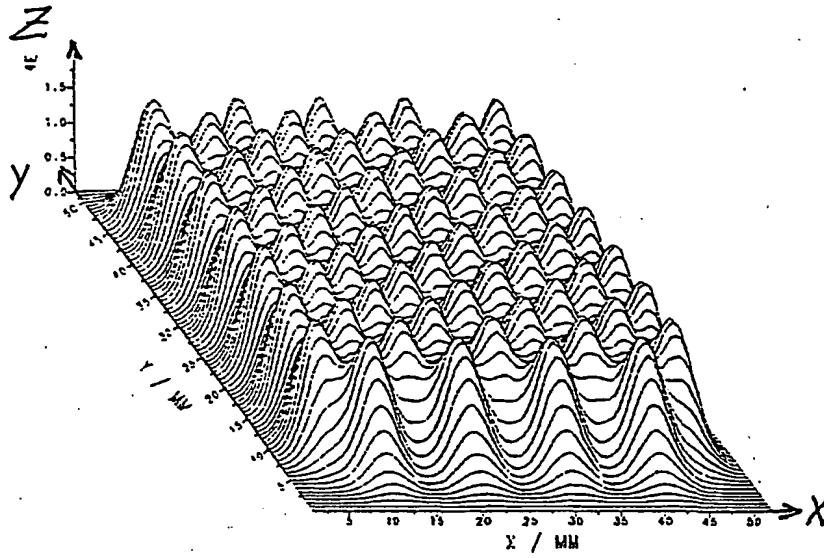


Fig. 2

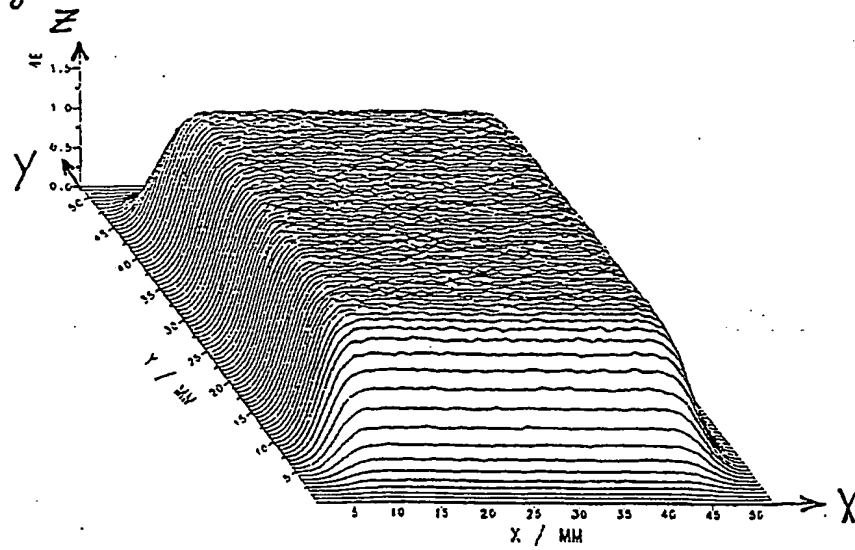
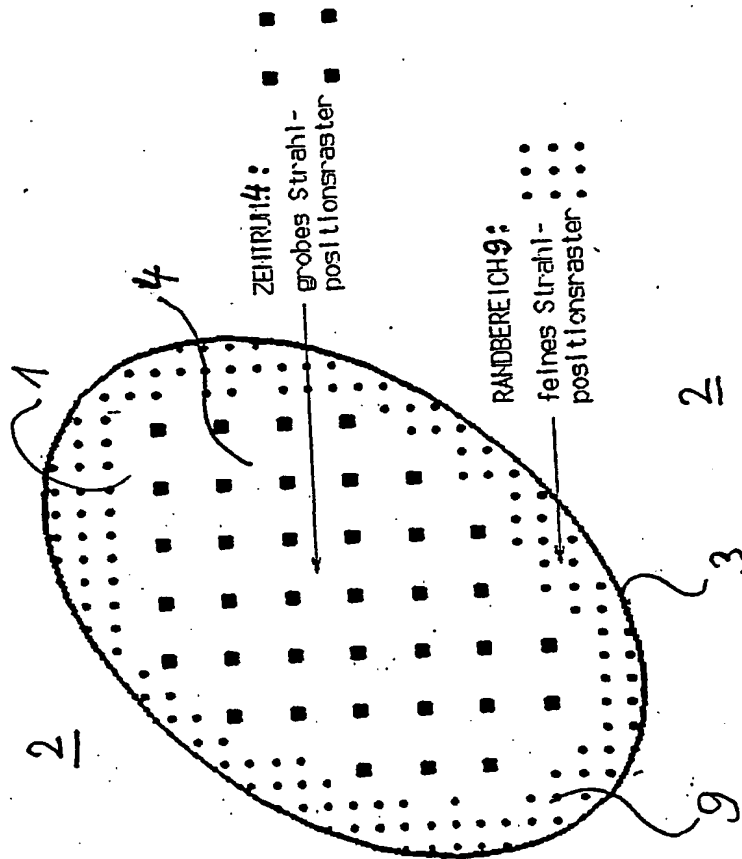


Fig. 3



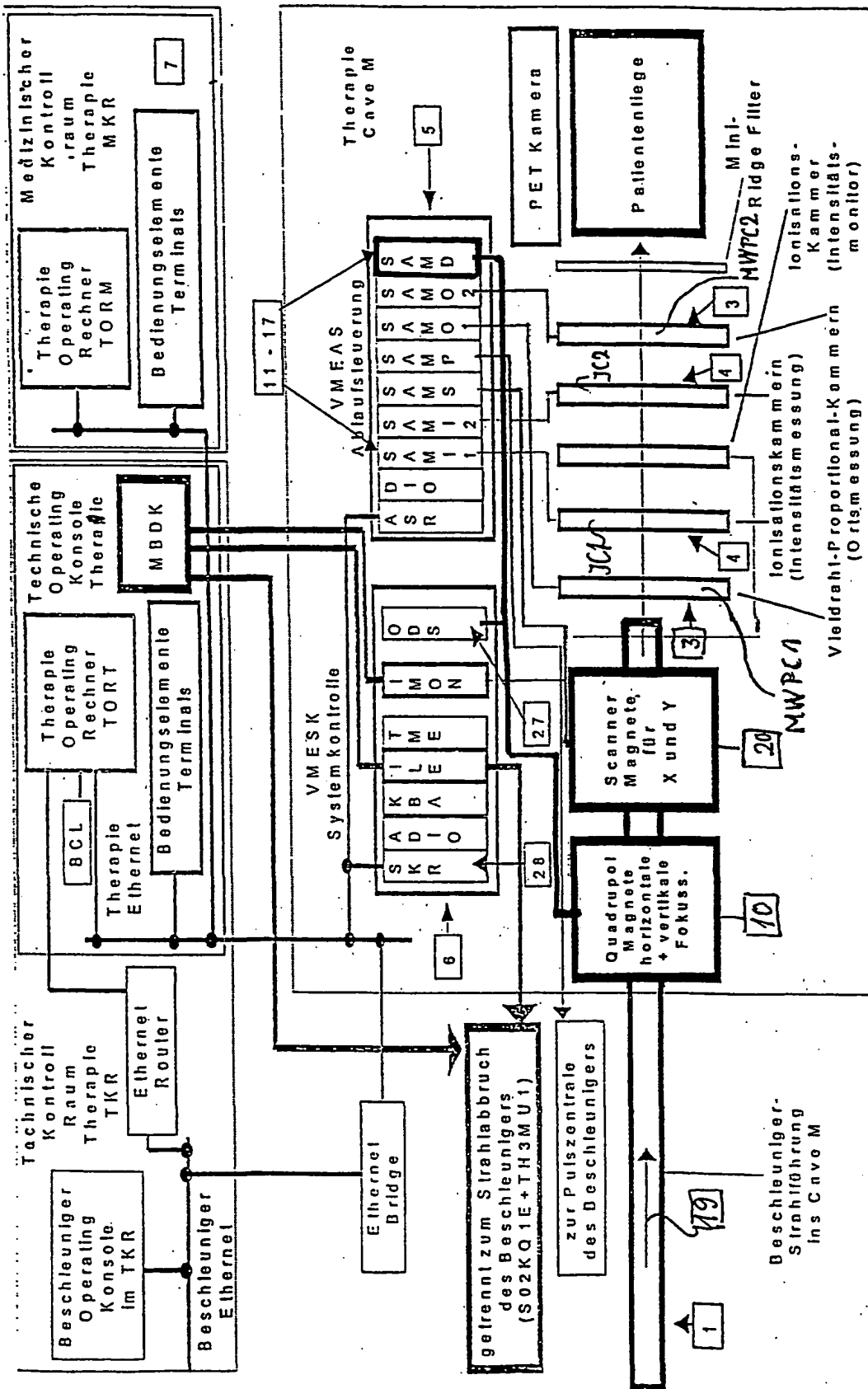
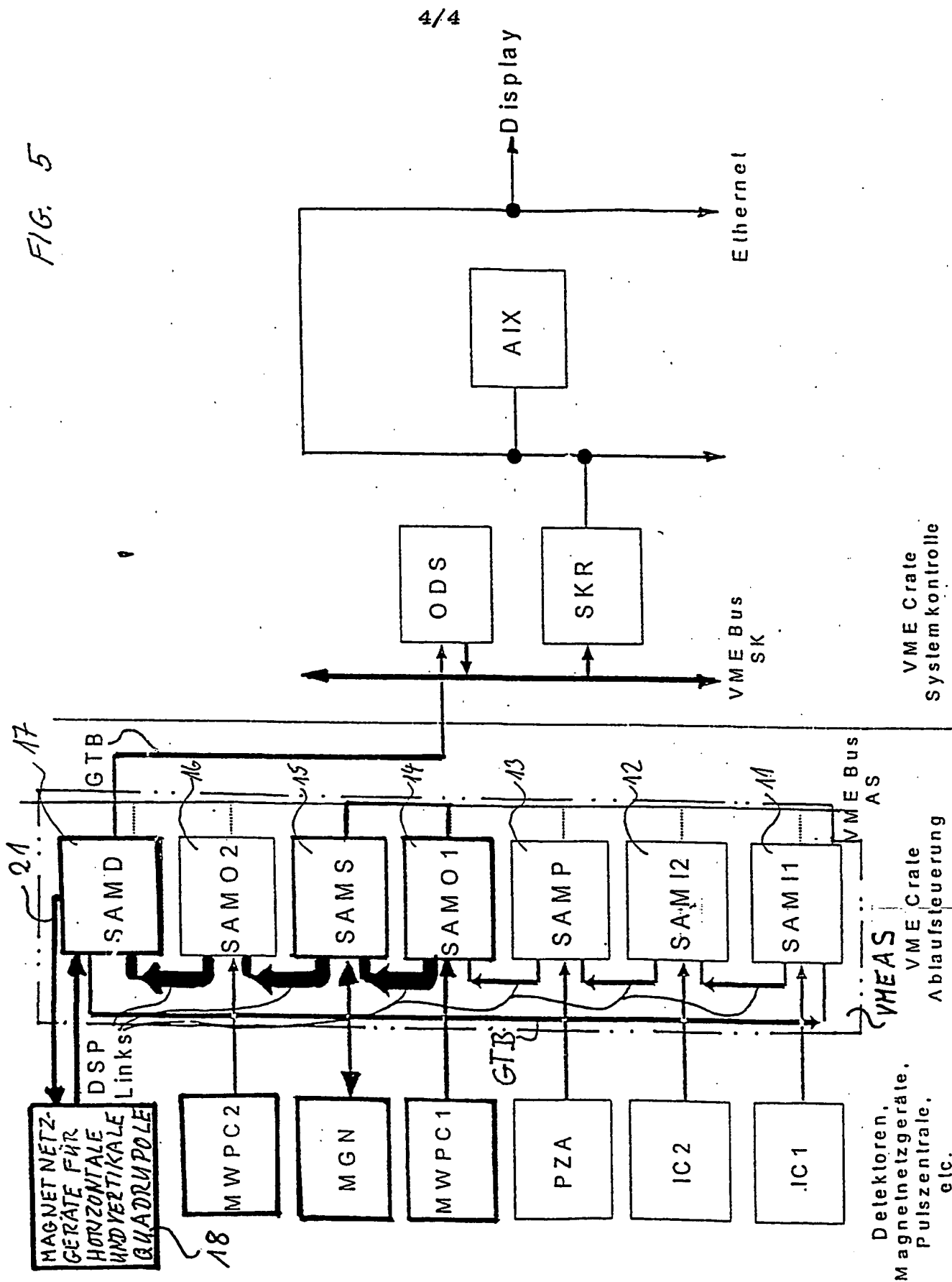


FIG 4

FIG. 5





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 01/13571

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 A61N5/10 G21K

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 A61N G21K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 041 579 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 4 October 2000 (2000-10-04) page 2, line 37 - line 58 page 6, line 12 - line 31 claim 1; figure 1	1-7
Y	EP 1 045 399 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 18 October 2000 (2000-10-18) the whole document	1-7
A	EP 0 986 070 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 15 March 2000 (2000-03-15) page 1, line 38, paragraph 9 - line 43 page 8, line 55, paragraph 59 - page 9, line 4 figure 6	1

-/--



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 March 2002

Date of mailing of the international search report

20/03/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Petter, E

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/01/13571

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 35 209 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 10 February 2000 (2000-02-10) cited in the application figure 2 -----	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/13571

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1041579 A	04-10-2000	EP 1041579 A1 WO 0060611 A1 EP 1166280 A1	04-10-2000 12-10-2000 02-01-2002
EP 1045399 A	18-10-2000	EP 1045399 A1 AU 4539900 A BR 0006029 A CN 1302440 T WO 0062307 A1	18-10-2000 14-11-2000 13-03-2001 04-07-2001 19-10-2000
EP 0986070 A	15-03-2000	EP 0986070 A1 BR 9913594 A WO 0016342 A1 EP 0986071 A2 EP 1112579 A1	15-03-2000 12-06-2001 23-03-2000 15-03-2000 04-07-2001
DE 19835209 A	10-02-2000	DE 19835209 A1 EP 0978294 A2	10-02-2000 09-02-2000

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte les Aktenzeichen

PCT 01/13571

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 A61N5/10 G21K5/04

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 A61N G21K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 1 041 579 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 4. Oktober 2000 (2000-10-04) Seite 2, Zeile 37 - Zeile 58 Seite 6, Zeile 12 - Zeile 31 Anspruch 1; Abbildung 1	1-7
Y	EP 1 045 399 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 18. Oktober 2000 (2000-10-18) das ganze Dokument	1-7
A	EP 0 986 070 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 15. März 2000 (2000-03-15) Seite 1, Zeile 38, Absatz 9 - Zeile 43 Seite 8, Zeile 55, Absatz 59 -Seite 9, Zeile 4 Abbildung 6	1

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. März 2002

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/03/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Petter, E

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 198 35 209 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 10. Februar 2000 (2000-02-10) in der Anmeldung erwähnt Abbildung 2 -----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung

zur selben Patentfamilie gehören

Internationale Aktenzeichen

PCT/01/13571

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1041579 A	04-10-2000	EP 1041579 A1 WO 0060611 A1 EP 1166280 A1	04-10-2000 12-10-2000 02-01-2002
EP 1045399 A	18-10-2000	EP 1045399 A1 AU 4539900 A BR 0006029 A CN 1302440 T WO 0062307 A1	18-10-2000 14-11-2000 13-03-2001 04-07-2001 19-10-2000
EP 0986070 A	15-03-2000	EP 0986070 A1 BR 9913594 A WO 0016342 A1 EP 0986071 A2 EP 1112579 A1	15-03-2000 12-06-2001 23-03-2000 15-03-2000 04-07-2001
DE 19835209 A	10-02-2000	DE 19835209 A1 EP 0978294 A2	10-02-2000 09-02-2000

BERICHTIGTE FASSUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
30. Mai 2002 (30.05.2002)

PCT

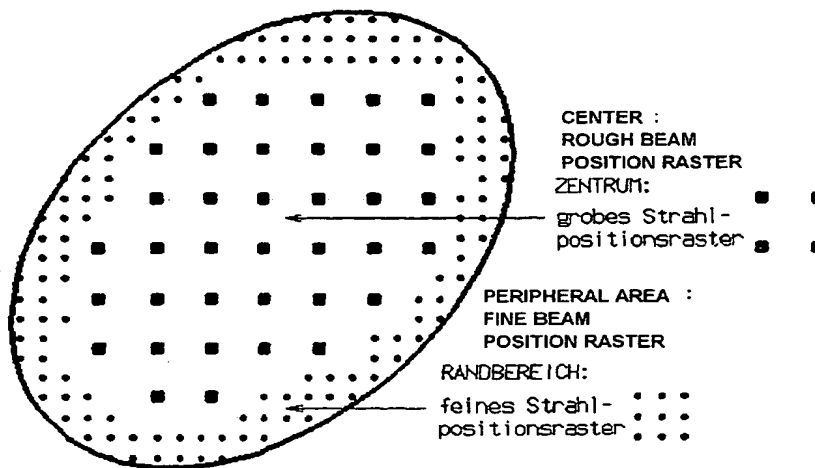
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/041948 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: A61N 5/10, (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONEN-FORSCHUNG MBH [DE/DE]; Planckstr. 1, 64291 Darmstadt (DE).  
G21K 5/04
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/13571
- (22) Internationales Anmeldedatum: 21. November 2001 (21.11.2001) (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HABERER, Thomas [DE/DE]; Planckstr. 1, 64291 Darmstadt (DE). OTT, Wolfgang [DE/DE]; Planckstr. 1, 64291 Darmstadt (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (74) Anwälte: BOETERS, Hans, D. usw.; Boeters & Bauer, Bereiteranger 15, 81541 München (DE).
- (30) Angaben zur Priorität: 100 57 824.1 21. November 2000 (21.11.2000) DE (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR ADAPTING THE SIZE OF AN ION BEAM SPOT IN THE DOMAIN OF TUMOR IRRADIATION

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ANPASSUNG EINER IONENSTRAHLFLECKGRÖÖE IN DER TUMORBESTRAHLUNG



(57) Abstract: The invention relates to a device and method for adapting the size of an ion beam spot in the domain of tumor irradiation. To this end, the device comprises a raster scanning unit comprised of raster scanning magnets (20) for raster scanning the ion beam (19). In addition, the inventive device comprises quadrupole magnets (10), which are arranged directly in front of the raster scanning magnets (20) and which determine the size of the ion beam spot, and comprises two magnetic power supply units (18) for the quadrupole doublet of the quadrupole magnets (10) that determine the size of the ion beam spot. The device additionally comprises a closed loop, which is provided for obtaining current correction values by comparing set values and actual values of a present beam count for two magnetic power supply units (18) of the quadrupole doublet that is arranged directly in front of the raster scanning magnets (20), and which provides a defined homogenization and/or a defined variation of the size of the ion beam spot.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/041948 A1



**(84) Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

**(15) Informationen zur Berichtigung:**

siehe PCT Gazette Nr. 21/2003 vom 22. Mai 2003, Section II

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

**(48) Datum der Veröffentlichung dieser berichtigten**

**Fassung:**

22. Mai 2003

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und eine Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung. Dazu weist die Vorrichtung eine Rasterscaneinrichtung aus Rasterscanmagneten (20) zur Rasterscannung des Ionenstrahls (19) auf. Darüber hinaus umfaßt die Vorrichtung Ionenstrahlfleckgröße bestimmende Quadrupolmagnete (10), die unmittelbar vor den Rasterscanmagneten (20) angeordnet sind, und schließlich zwei Magnetstromnetzgeräte (18) für das Quadrupoldoublett der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden quadrupolmagnete (10), wobei die Vorrichtung eine Regelschleife zur Gewinnung von Stromkorrekturwerten unter Vergleich und soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte (18) des unmittelbar vor dem Rasterscanmagneten (20) angeordneten Quadrupoldoubletts zur definierten Homogenisierung und/oder zur definierten Variation der Ionenstrahlfleckgröße aufweist.



### **Vorrichtung und Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße gemäß dem unabhängigen Verfahrensanspruch.

Aus dem Artikel von Th. Haberer, W. Becher, D. Schardt und G. Kraft "Magnetic scanning system for heavy ion therapy", erschienen in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A330 (1993), Seiten 206 - 305, ist eine Vorrichtung entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bekannt und ein intensitätsgesteuertes Rasterscanverfahren. Weiterhin ist aus der Patentanmeldung DE 198 35 209.3 "Vorrichtung und Verfahren zum Steuern einer Bestrahlungseinrichtung" eine Vorrichtung und ein Verfahren bekannt, daß auf einem Kontrollsystem basiert, das eine sichere Abtastung eines Tumervolumens eines Patienten mit Hilfe eines Rasterscanverfahrens ermöglicht. Diese Vorrichtung hat jedoch den Nachteil, daß die Ionenstrahlfleckgröße während und zwischen den Bestrahlungspunkten nicht ohne großen Aufwand einstellbar ist, so daß die Ionenstrahlfleckgröße wäh-

rend eines jeden Schnittes durch das Tumolvolumen gleich breit bleibt und damit insbesondere im Randbereich keine scharfen Konturen zuläßt.

Aufgabe einer Weiterentwicklung dieses Kontrollsystems ist es, eine Erhöhung der geometrischen Präzision der Dosisapplikation und eine deutliche Steigerung der Robustheit des Verfahrens gegenüber Strahlpositionsschwankungen insbesondere auch im Hinblick auf den künftigen Einsatz von drehbaren Strahlführungen (Gantrys) mit integrierter Rasterscantechnik zu erreichen.

Die Größe der unvermeidbaren Strahlpositionsschwankungen aufgrund erschwerter ionenoptischer Bedingungen nimmt bei den drehbaren Strahlführungen (Gantrys) zu. Selbst wenn die Intensität des Therapiestrahls zwischen Maximalwert und Mittelwert um den Faktor 30 schwanken, soll und muß die Strahlpositionsschwankung des vom Beschleuniger gelieferten Therapiestrahls im Bereich von  $\pm 2$  mm liegen. Somit ist es auch Aufgabe der Erfindung, eine präzise Bestrahlungsplanung umzusetzen, so daß die aus der Gesamtbestrahlung resultierende Dosisverteilung im Mittel um weniger als 5 % von der geplanten Dosisverteilung abweicht.

Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Merkmale vorteilhafter Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Erfindungsgemäß weist die Vorrichtung zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung eine Rasterscaneinrichtung aus Rasterscanmagneten zur Rasterscannung des Ionenstrahls auf. Ferner sind Ionenstrahlfleckgröße bestimmende Quadrupolmagnete unmittelbar vor dem Rasterscanmagneten vorgesehen. Das Quadrupoldoublett der strahlgröÙebestimmenden

Quadrupolmagnete wird erfindungsgemäß von zwei Magnetstromnetzgeräten versorgt.

Bei einer bisher verwendeten Vorrichtung können während der Extraktion des Therapiestrahls aus einem geeigneten Beschleuniger wie einem Synchrotron zeitliche Veränderungen von ionenoptischen Parametern im Beschleuniger oder der nachfolgenden Strahlführung sowohl Strahlpositionsschwankungen als auch zeitliche Veränderungen der Strahlfleckgrößen verursachen. Während das Teilproblem der Strahlpositionsschwankungen zwischenzeitlich äußerst effektiv gelöst wurde, gibt es bisher kein Verfahren, die Strahlfleckgrößenschwankungen zu vermindern oder zu beherrschen.

Ziel einer Tumorionenbestrahlung ist es jedoch, möglichst exakte Teilchenbelegungen zu erzeugen, das heißt, innerhalb des Zielvolumens sollen die Abweichungen von der geplanten Dosisverteilung minimal werden, sind die Strahlbreitenvariationen nur in einem bestimmten Maß tolerabel, da sonst das geometrische Muster der Strahlpositionen, welches im Rahmen einer Bestrahlungsplanung vorher festgelegt wurde, nur für einen definierten Bereich der Strahlbreite ausreichend exakte Bestrahlungsergebnisse liefern kann.

Deshalb weist erfindungsgemäß die Vorrichtung eine Regelschleife auf, die Stromkorrekturwerte unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenausählung für zwei Magnetstromnetzgeräte des unmittelbar vor den Rastercanmagneten angeordneten Quadrupoldoublets und eine definierte Homogenisierung und/oder eine definierte Variation der Strahlfleckgröße während der Strahlenextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition bereitstellt.

Die erfindungsgemäße Lösung hat den Vorteil, daß ein sinnvolles Verhältnis von Strahlprofilbreite zu Strahlpositionsabstand während der Bestrahlung eingehalten werden kann, und es ergeben sich damit homogene Dosisverteilungen, die den medizinischen Anforderungen genügen, wie sie in Figur 2 gezeigt werden.

Um eine derart homogene Strahlenverteilung zu erreichen, weist vorzugsweise die Vorrichtung eine Echtzeitsoftware auf zur Berechnung der Istwerte der Ionenstrahlbreite aus Detektorrohdaten. Darüber hinaus weist die Vorrichtung einen ortsempfindlichen Detektor zur Erfassung der Ionenstrahlbreite und zur Erzeugung von Detektorrohdaten der Ionenstrahlbreite auf. Ein Vorteil dieser Ausführungsform der Erfindung besteht darin, die Erzeugung sehr steiler Dosisgradienten am Rand des zu bestrahlenden Volumens durch die Variation der Ionenstrahlbreite zum Rand hin zu ermöglichen.

Die Strahlfleckgröße wird für einen steilen Randabfall zum Rand hin minimiert, so daß der Bereich dieses Dosisabfalls skaliert mit der Halbwertsbreite des Therapiestrahls möglich ist. Mit dieser Vorrichtung zur Regelung der Strahlfleckgröße ist der Vorteil verbunden, daß die Bestrahlungsdauer für den Patienten im Bestrahlungsraum in immobilisierter Lage des Patienten minimiert werden kann, indem eine große Ionenstrahlfleckgröße in weiten Bereichen des Tumorumfanges durchführbar ist und nur zum Rand hin, - um eine präzisere Nachzeichnung des Randes zu erhalten, - die Ionenstrahlfleckgröße vermindert und die Strahlpositionen pro Flächeneinheit verdichtet werden, wie es in Figur 3 gezeigt wird.

Die Dauer einer Bestrahlung und damit auch der Patientendurchsatz einer Anlage wird durch die verminderte Dichte der Strahlpositionen im Volumen des Tumors vermindert, da mit abnehmender Dichte der Strahlpositionen auch die Dauer der Bestrahlung ab-

nimmt. Somit wird vorteilhaft eine Verringerung der Bestrahlungsdauer durch die Möglichkeit der Strahlfleckgrößeneinstellung erreicht, weil weniger Strahlpositionen in größerem Abstand im Volumeninneren des Tumors geplant werden können. Um jedoch andererseits eine ausreichende Qualität der Teilchenbelegungen über dem Querschnitt des Tumors zu gewährleisten, wird bei gegebenem Strahlpositionsabstand eine Mindestbreite des Strahlflecks gefordert. Diese wiederum wird durch die erfindungsgemäße Vorrichtung gewährleistet.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung weist diese Steuer- und Auslesemodule und zugehörige Datenverbindungen auf, um Informationen über den Istwert von Ionenstrahlbreiten an ein Speicher-, Steuer- und Auslesem modul zu schicken und die Meßdaten zu speichern. Diese Ausführungsform der Erfindung hat den Vorteil, daß durch Zusammenwirken von Steuer- und Auslesem modul mit den Magnetstromnetzgeräten des Quadrupoldoublets der Ionenstrahlpunktgröße bestimmenden Quadrupolmagnete eine zügige Variation der Ionenstrahlfleckgröße gewährleistet werden kann.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das Auslesem modul eine Anzahl freier Schnittstellen und eine Rechenleistung auf, über welche die Nachführung der Ionenstrahlbreite ausführbar ist. Somit wird vorteilhaft die aus medizintechnischer Sicht verständliche Forderung eines steilen und präzisen Randabfalls bei minimaler Bestrahlungsdauer bezüglich der Bestrahlungsfleckgröße erreicht, was im derzeitigen Stand der Technik aufgrund der starren Ionenstrahlfleckgröße nicht erreichbar ist. Mit der Nachführbarkeit und Einstellbarkeit der Strahlfleckgröße und der Strahlfleckposition ergibt sich vorteilhaft eine dynamische Anpassung während der Bestrahlung eines Tumervolumens, wodurch auch dem Bestrahlungsplaner eine erhöhte Flexibilität in der Festlegung des Strahlpositionsmusters

bereitgestellt wird und die Qualität der Dosisverteilung weiter gesteigert werden kann.

In einer alternativen Ausführungsform der Vorrichtung wird ein um ein Steuer- und Auslesemodul erweitertes Kontrollsystem bereitgestellt, wobei das zusätzliche Steuer- und Auslesemodul ausschließlich die Funktion der Ionenstrahlbreitenregelung ausführen kann. Mit dieser Ausführungsform wird die schnelle Adjustierung in Zeitintervallen möglich, die wesentlich kürzer als typische Beschleunigerzykluszeiten sind, erreicht.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Vorrichtung eine Regelschleife auf, die von einer Vieldrahtionisationskammer mit angeschlossenem Steuer- und Auslesemodul ausgeht und zu einem Steuer- und Auslesemodul führt, das Meßdaten zur graphischen Darstellung bereitstellt, und zwei Magnetstromgeräte zur horizontalen und vertikalen Fokussierung des Quadrupoldoublette unmittelbar vor dem Rasterscanmagneten ansteuert. Damit werden vorteilhaft korrigierte Feldeinstellungen erzeugt, welche den Fokussierzustand der Anlage verbessern. Die Regelung kann sowohl die Aufrechterhaltung einer konstanten Ionenstrahlfleckgröße während des Scanprozesses als auch die definierte Variation der Ionenstrahlfleckgröße gemäß dem Vorgang einer Bestrahlungsplanung in vorteilhafter Weise sicherstellen. Dabei wird die aus der Ortsmessung des Rasterscan-systems verfügbare Information zum zeitlichen Verlauf der Strahlbreite kombiniert mit der Fähigkeit des Kontrollsystems, Magnetstromnetzgeräte von Ionenstrahlfleckgröße beeinflussenden Magneten wie z.B. Quadrupolmagneten in schneller zeitlicher Abfolge mit neuen Sollwerten zu beaufschlagen, so daß aus dem aktuellen Vergleich von Soll- und Istwert der aktuellen Strahlausdehnung Stromkorrekturwerte für beide Magnetstromnetzgeräte eines Quadrupoldoubletts unmittelbar vor dem Rasterscanmagneten errechnet werden können.

Ein Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbehandlung wird durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet:

- dynamisches Anpassen der Ionenstrahlfleckgröße in Echtzeit unter
- Beaufschlagen des Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnetes mit Sollwerten für unterschiedliche Ionenstrahlfleckgröße innerhalb eines Beschleunigungszyklus und/oder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Beschleunigungszyklen und/oder zwischen benachbarten Strahlpositionen mittels einstellbarer Frequenz,
- Gewinnung von Stromkorrekturwerten unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte des Quadrupoldoublets der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagneten zur definierten Homogenisierung und/oder zur definierten Variation der Ionenstrahlfleckgröße während der Strahlextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition,
- Bestrahlen eines Tumorgewebes mit einem dichteren Ionenstrahlpositionsrastrer bei gleichzeitig geringerer Ionenstrahlfleckgröße im Randbereich als im Volumenbereich des Tumors.

Somit verbessert das erfindungsgemäße Verfahren das früher beschriebene Rasterscanverfahren in mehreren Aspekten. Durch die Möglichkeit, die Ionenstrahlfleckgröße in Echtzeit einzustellen, kann die Qualität der vom Rasterscanner erzeugten Teilchenbelegungen gesteigert werden, indem die aktuelle Strahlbreite aktiv an die Vorgaben der Bestrahlungsplanung durch ein Regelungsverfahren angepaßt wird. Hierdurch kann die geometrische Dichte der Strahlpositionen gegenüber dem bisherigen Bestrahlungsmodus verringert werden, zumal bisher eine Reserve

vorbehalten werden mußte, um die stets vorkommenden Schwankungen der Strahlbreite auszugleichen. Das erfindungsgemäße Regelungsverfahren, welches diese Schwankungen minimiert, eröffnet die Möglichkeit, eine geringere Zahl an Strahlpositionen zu planen, dies führt zu kürzeren Bestrahlungszeiten und einem höheren Patientendurchsatz.

In einem bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird die Strahlhalbwidthsbreite dem Ionenstrahlpositionsraaster in der Weise angepaßt, daß bei feinem Ionenstrahlpositionsraaster im Randbereich eine geringere Strahlhalbwidthsbreite eingestellt wird als im Volumenbereich des Tumors mit einem groben Ionenstrahlpositionsmuster. Damit lassen sich vorteilhaft im Randbereich präzisere Abgrenzungen zwischen Tumorgewebe und gesundem Gewebe erzielen, da gleichzeitig die Strahlhalbwidthsbreite geringer und damit schärfer eingestellt wird als im Volumenbereich des Tumors. Durch die größere Strahlhalbwidthsbreite im Volumenbereich des Tumors mit einem groben Ionenstrahlmuster kann vorteilhaft die Gesamtzahl der Strahlpositionen pro Isoenergieschnitt, das heißt pro Bestrahlungsebene, vermindert werden und damit die Strahlbehandlungszeit verringert werden. Andererseits wird der Dosisgradient am Rand des Tumorgewebes sehr steil und somit eine präzise Abgrenzung zwischen Tumorgewebe und gesundem Gewebe sichergestellt.

Ein weiteres bevorzugtes Durchführungsbeispiel des Verfahrens sieht vor, daß für jeden Meßzyklus eine Echtzeitsoftware in einem Steuer- und Auslesem modul einer Violdrahtionisationskammer den Istwert der Ionenstrahlbreite aus den Detektorrohdaten der Violdrahtionisationskammer errechnet. In diesem Fall wird ein Verfahren vorzugsweise durchgeführt, bei dem die Strahlhalbwidthsbreite von Meßzyklus zu Meßzyklus variiert und eingestellt wird, wobei die Strahlhalbwidthsbreitenberechnung über die Erfassung von Detektorrohdaten einer Violdrahtionisationskammer



erfolgt. Eine derartige Echtzeitsoftware hat zwischen Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder zwischen benachbarten Strahlpositionen genügend Zeit, um die entsprechenden Einstelldaten neu und angepaßt zu berechnen.

In einem weiteren bevorzugten Durchführungsbeispiel des Verfahrens werden Informationen der Strahlbreite an ein Modul zum Speichern der Meßdaten sowie zum Steuern und Auslesen geliefert. Dieses Modul kann einerseits dafür dienen, daß die Rohdetektordaten zunächst gespeichert und von Strahlposition zu Strahlposition oder von Meßzyklus zu Meßzyklus neu korreliert werden.

In einem weiteren Durchführungsbeispiel des Verfahrens wird ein Modul zum Speichern, Steuern und Auslesen der Istwerte der Ionenstrahlfleckgröße mit der Information über den Sollwert der Ionenstrahlfleckgröße aus einem Bestrahlungsplan in Echtzeit verglichen. Mit einem derartigen Modul kann die Ionenstrahlfleckgröße nicht nur zwischen Meßzyklus und Meßzyklus und/oder zwischen Strahlposition zu Strahlposition erfaßt und variiert werden, sondern noch während und innerhalb einer Strahlextraktion variiert werden. Dazu wird in einem weiteren Durchführungsbeispiel des Verfahrens ein Korrekturwert für Magnetnetzgeräte der Quadrupoldoublette der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnete einer Hochenergiestrahlführung unmittelbar vor dem Rasterscanner ermittelt und entsprechend eingestellt.

Wird in einem weiteren Durchführungsbeispiel des Verfahrens von Meßzyklus zu Meßzyklus gearbeitet, so kann ein Ortsmeßsystem von einer Ionenstrahlposition im Strahlungsplan zur nächsten Ionenstrahlposition eine Korrektur und Neueinstellung durchführen. Diese Neueinstellung wird zunächst durch ein Einstellen der Frequenz einer Nachführung des Ionenstrahl bereits in Form

eines Parameters einer Echtzeitsoftware vorgegeben, welche die Korrekturwerte für die Quadrupoldoublette ermittelt und durchführt. Auch die Dämpfung der Ionenstrahlbreite ist analog zur Frequenz der Anpassung über einen Parameter einstellbar. Schließlich können Schwellenwerte für die Ionenstrahlbreite in bezug auf maximale und minimale Ionenstrahlbreite festgelegt werden, um Fehlanpassungen von vorneherein auszuschließen.

Somit betrifft das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Nachregelung der Strahlbreite in Echtzeit. Hierzu wird die aus der Ortsmessung des Rasterscansystems verfügbare Information zum zeitlichen Ablauf der Strahlbreite kombiniert mit der Fähigkeit des Kontrollsystems, Magnetstromnetzgeräte von Ionenstrahlfleckgröße beeinflussenden Magneten wie Quadrupolmagneten in schneller zeitlicher Abfolge mit neuen Sollwerten zu beaufschlagen. Hierdurch wird eine Regelschleife aufgebaut, welche es ermöglicht, aus dem Vergleich von Soll- und Istwerten der aktuellen Strahlausdehnung Stromkorrekturwerte für die beiden Magnetstromnetzgeräte des Quadrupoldoubletts unmittelbar vor den Rasterscanmagneten zu errechnen und somit korrigierte Feldeinstellungen zu erzeugen, welche den Fokussierzustand einer Ionenstrahltherapieanlage verbessern. Somit kann sowohl die Regelung für eine konstante Ionenstrahlfleckgröße sorgen und zuverlässiger während des Scanprozesses beibehalten werden als auch definierte Variationen der Ionenstrahlfleckgröße gemäß den Vorgaben einer wesentlich flexibler gestaltbaren Bestrahlungsplanung durchgeführt werden.

Figur 1 zeigt ein Beispiel für eine inhomogene Dosisverteilung bei zu geringer Strahlhalbwertsbreite.

Figur 2 zeigt ein Beispiel für eine homogene Dosisverteilung bei ausreichender Strahlhalbwertsbreite.

Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Strahlpositionsverteilung, die durch Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich wird.

Figur 4 zeigt eine Ausführungsform eines Bestrahlungssystems, in dem die erfindungsgemäße Vorrichtung einsetzbar ist.

Figur 5 zeigt einen Datenflußplan eines Ausführungsbeispiels der Erfindung.

Figur 1 zeigt ein Beispiel für eine inhomogene Dosisverteilung bei zu geringer Strahlhalbwertsbreite. Dazu ist in Figur 1 ein Koordinatensystem in X-, Y- und Z-Richtung aufgepannt, wobei die Einheit für die X- und die Y-Achse Millimeter sind und in Richtung der Z-Achse die Strahlendosis aufgetragen ist. Figur 1 illustriert die Auswirkung einer nicht mit Vorgaben einer Strahlungsplanung konformen Strahlprofilbreite auf die Homogenität der Dosisverteilung. An den in Z-Richtung herausragenden Maxima von Bestrahlungsdosen ist eine für eine Tumorbestrahlung nicht vertretbare Inhomogenität zu erkennen.

Im Prinzip ist die Strahlprofilbreite im Verhältnis zu den Strahlungspositionsabständen zu schmal oder umgekehrt, die Strahlungspositionsabstände sind für die eingestellte Strahlprofilbreite zu groß. Ein wesentliches Ziel der Strahlapplikation wird somit nicht erreicht, nämlich die Erzeugung von möglichst exakter Teilchenbelegung, das heißt, innerhalb des Zielvolumens sollen die Abweichungen von der geplanten Dosisverteilung minimal sein, und somit ergibt sich für die in Figur 1 eingestellte Strahlprofilbreite eine Bestrahlungsinhomogenität, und die Vorgaben der Bestrahlungsplanung können nicht eingehalten werden.

Figur 2 zeigt ein Beispiel für eine homogene Dosisverteilung bei ausreichender Strahlhalbwertsbreite. In Figur 2 ist wieder ein X-, Y- und Z-Koordinatensystem dargestellt mit einer Millimetereinteilung in der X- und der Y-Achse sowie eine Dosisgröße in Richtung der Z-Achse. Bei dieser Ausführungsform wird ein sinnvolles Verhältnis von Strahlprofilbreite zu Strahlpositionsabstand während der Bestrahlung eingehalten, so daß sich eine homogene Dosisverteilung, die den medizinischen Anforderungen genügt, im Tumervolumen ergibt und ein relativ steiler Abfall zum Rand der Bestrahlung erreichbar wird. Dazu muß jedoch ein wesentlich geringerer Strahlpositionsabstand und damit wesentlich mehr Strahlpositionen in Figur 2 geplant werden als in Figur 1, so daß die Behandlungszeit in Figur 2 um ein Vielfaches größer wäre als die Behandlungszeit in Figur 1. Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung kann jedoch die Strahlbreite von Strahlposition zu Strahlposition variiert werden, so daß mit größer werdendem Strahlpositionsabstand die Strahlprofilbreite breiter eingestellt werden kann und zum Rand hin der Strahlpositionsabstand verringert werden kann bei gleichzeitiger Verringerung der Strahlprofilbreite.

Somit können durch die erfindungsgemäße Vorrichtung wesentlich homogenisiertere Dosisverteilungen wie sie Fig. 2 zeigt erreicht werden und gleichzeitig die Anzahl der Strahlpositionen pro Isoschnitt durch ein Tumorgewebe vermindert werden, und zum Rand des Tumorgewebes hin der Strahlpositionsabstand vermindert und gleichzeitig die Strahlprofilbreite verkleinert werden, wie es Fig. 3 zeigt, so daß ein steiler Randabfall und eine präzise Abgrenzung zum gesunden Gewebe möglich wird.

Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Strahlpositionsverteilung, die durch Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich wird. Die erfindungsgemäße Vorrichtung erlaubt eine Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung mit

einer Rasterscaneinrichtung aus Rasterscanmagneten zur Rasterscannung des Ionenstrahls, mit Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagneten, die unmittelbar vor den Rasterscanmagneten angeordnet sind, mit zwei Magnetstromnetzgeräten des Quadrupoldoublets der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnete, wobei die Vorrichtung eine Regelschleife aufweist, die Stromkorrekturwerte bereitstellt unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte des unmittelbar vor den Rasterscanmagneten angeordneten Quadrupoldoublets und eine definierte Homogenisierung und/oder eine definierte Variation der Ionenstrahlfleckgröße während der Strahlextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition ermöglicht.

Figur 3 zeigt dazu ein Tumorgewebe 1 umgeben von einem gesunden Gewebe 2 und einen scharf abgegrenzten Rand 3, der das Grenzgewebe zwischen Tumorgewebe 1 und gesundem Gewebe 2 darstellt. Mit der oben erwähnten erfindungsgemäßen Vorrichtung wird die Strahlprofilbreite im Zentrum 4 des Tumorgewebes größer eingestellt als im Randbereich 9 des Tumorgewebes 1. Dafür wird im Randbereich 9 ein feines Strahlpositionsraster vorgesehen, das in dieser Ausführungsform eine vierfache Flächendichte im Randbereich 9 gegenüber der Flächendichte im Zentrum 4 aufweist.

Aufgrund der erfindungsgemäßen Strahlbreitenregelung, die unmittelbar auf die vor den Rasterscanmagneten angeordneten Quadrupoldoublets, sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung einwirkt, ist es möglich, trotz des groben Strahlpositionsrasters im Zentrum 4 des Tumorgewebes eine Homogenisierung der Dosisverteilung zu realisieren und gleichzeitig eine homogene Dosisverteilung auch im Randbereich 9 zu erreichen mit wesentlich präziserer Abgrenzung des Randbereichs des Tumorgewebes 1 gegenüber dem gesunden Gewebe 2 aufgrund der An-

passung von Strahlposition zu Strahlposition der Ionenstrahlfleckgröße während der Bestrahlung. Diese Anpassung kann nicht nur von Strahlposition zu Strahlposition durchgeführt werden, sondern auch von Meßzyklus zu Meßzyklus und zur Stabilisierung der Dosisverteilung auch während der Strahlextraktion erfolgen. Dazu ist eine zusätzliche Regelschleife zwischen einem Steuerungs- und Auslesem modul und Magnetnetzgeräten für horizontale und vertikale Quadrupole vorgesehen, die unmittelbar vor dem Scanmagneten angeordnet sind.

Somit wird zur Bestrahlung dieses Isoenergieschnittes im Randbereich ein schmaler Ionenstrahlfleck auf einem engen Strahlpositionsraaster und im Zentrum ein großer Strahlfleck auf einem groben Strahlpositionsraaster durchgeführt. Hierdurch kann vorteilhaft die Gesamtzahl der Strahlpositionen pro Isoenergiequerschnitt und damit die Bestrahlungsdauer deutlich herabgesenkt werden, und der Dosisgradient am Rand sehr steil bei der Vorgabe der Bestrahlungsplanung gewählt werden.

Figur 4 zeigt eine Ausführungsform eines Bestrahlungssystems, in dem die erfindungsgemäße Vorrichtung einsetzbar ist. Dabei wird die Steuerung und Überwachung des Bestrahlungssystems durch ein komplexes elektronisches System gewährleistet.

Das Steuerungs- und Überwachungssystem setzt sich aus drei Ebenen zusammen, nämlich einer Ablaufsteuerung 5, einer Systemkontrolle 6 und einer Bedienerführung 7. Diese arbeiten unabhängig voneinander. Verteilt über alle drei Ebenen ist ein Sicherheitssystem 8 realisiert, welches eine sofortige Abschaltung des Strahls im Falle einer Störung im System gewährleistet.

Die Ablaufsteuerung 5 erlaubt einen Zugriff von der Bedienerführung 7 nur bei der Initialisierung beim Start und beim Notstop. Während der Bestrahlung agiert die Ablaufsteuerung 5 au-

tomatisch. Sie erfüllt neben den Steuerungsaufgaben auch Sicherheitsfunktionen, indem die gemessenen Daten mit den Vorgaben des Bestrahlungsplanes verglichen werden und bei Abweichung oberhalb festgelegter Grenzen zur Abschaltung des Strahls führen.

Die Systemkontrolle 6 erlaubt die Einstellung der Betriebsparameter, zum Beispiel der Detektorspannung. Des weiteren überwacht die Systemkontrolle 6 "langsam" ablaufende Vorgänge durch Auslesen einer Vielzahl von Systemzuständen und schaltet gegebenenfalls den Strahl ab.

Die Bedienerführung 7 ermöglicht dem Bediener die Interaktion mit dem Steuerungs- und Überwachungssystem. Von hier aus werden Bestrahlungspläne in die Ablaufsteuerung 5 geladen, Bestrahlungen gestartet, gestoppt oder unterbrochen, Bedieneraktionen und Systemparameter protokolliert, der Bestrahlungsvorgang und der Systemzustand anhand der Meßdaten visualisiert und die gemessenen Daten zu Dokumentszenen archiviert.

Das Steuerungs- und Überwachungssystem ist als VME-Umgebung realisiert und weist Bedienungseinrichtungen wie Ein-/Ausgabegeräte (Terminals) sowie eine Rechenanlage bestehend aus mehreren Einzelrechnern mit den üblichen Peripheriegeräten auf. Die Einrichtungen zur Überwachung des Strahls bezüglich Ort, Breite und Intensität sowie die Einrichtung zur Anforderung und Ablenkung des Strahls sind über Busleitungen an die VME-Umgebung gekoppelt.

Das von der Ablaufsteuerung 5 unabhängig arbeitende Sicherheitssystem überwacht den Betragsstrahlungsvorgang während der gesamten Dauer der Bestrahlung. Es unterbricht den Bestrahlungsvorgang selbsttätig, wenn infolge einer Fehlfunktion die Ablenkung des Strahles fehlerhaft ist oder die Teilchenzahl,

für einen Punkt für eine Schicht oder die insgesamt aufgebraachte Teilchenzahl überschritten wird. Hierbei kann die Ursache einer Fehlfunktion bereits in der Strahlerzeugung liegen oder in der Ablaufsteuerung 5 begründet sein, wobei die Ablaufsteuerung 5 jedoch Selbstkontrollmittel zur Unterbrechung des Bestrahlungsvorgangs aufweist.

Die Ablaufsteuerung 5 weist Schaltungsmodule (Steuerungs- und Auslesemodule 11 - 17) auf, die durch einen gemeinsamen Systembus mit den Bedienungseinrichtungen verbunden sind. Der Systembus ist als VME-Bus ausgebildet.

Jedes der Steuerungsmodule 11 bis 17 ist jeweils durch einen separaten Gerätebus mit einer Meßeinrichtung (wie Ionisationskammer, Vieldrahtkammer usw.) bzw. mit einer externen Speichervorrichtung 27 verbunden. Die Gerätebusse sind von dem Systembus unabhängig. Das mit Figur 4 gezeigte Blockschaltbild gehört somit zu einem Kontrollsystem für eine Ionenstrahltherapieanlage.

Das Kontrollsystem für eine Ionenstrahltherapieanlage besteht somit im wesentlichen aus einem technischen Kontrollraum (TKR), in dem auf einer Beschleuniger-Operating-Konsole alle Beschleunigerdaten des Ethernet auflaufen und Ethernet-Router-Daten an die nächste größere Einheit des Kontrollsystems für eine Ionenstrahltherapieanlage der technischen Operatingkonsole in der Therapie selbst weitergeleitet wird. Das zentrale Gerät dieser technischen Operating-Konsole ist der Therapie-Operating-Rechner (TORT), der einen Barcodeleser (BCL) aufweist und der über das Therapie-Ethernet mit dem Bedienungselement der Terminals in Verbindung steht. Die technische Operating-Konsole im Therapiebereich verfügt über eine medizinische Bedienkonsole (MBDK), die mit einem Therapiebereich (Cave M) in Verbindung steht und über eine unmittelbare Verbindung zum Auslösen eines



Strahlabbruchs des Beschleunigers verfügt. Zum Strahlabbruch wird ein Resonanzquadrupol (S02IQ1E) für die langsame Extraktion des Strahls über sein Netzgerät über eine Interlockeinheit in dem Bussystem des Therapiekontrollsystems auf Null gesetzt. Ein Ablenktdipolmagnet (TH3MU1) der Strahlführung zum Therapie-meßplatz wird ebenfalls zum Strahl- oder Extraktionsabbruch in einem Fehlerfall durch die Interlockeinheit (ILE) in dem Bussystem (VME) des Therapiekontrollsystems auf Null gesetzt.

Für die Systemkontrolle (VMESK) an sich wirken mehrere Mikroprozessoren auf einem Bussystem-Verbindungsrahmen (VME-Crate) zusammen. Dazu gehört neben dem oben erwähnten und in Figur 4 dargestellten Datenspeicher (ODS) für eine Online-Anzeige ein Intensitätsmonitor (IMON), der unter anderem mit einer Ionisationskammer und der Ausleseelektronik zur Überwachung der Gesamtteilchenzahl zusammenwirkt. Darüber hinaus befindet sich in der Systemkontrolle eine Trottmann-Schaltungseinheit (TME) zur Überwachung der Funktionsfähigkeit der Prozessoren. Neben der bereits erwähnten Interlockeinheit (ILE) und einem Kontrollbusadapter (KBA) verfügt die Systemkontrolle über ein Analog-/Digitalmodul (ADIO) und einen Systemkontrollrechner (SKR) in dem Bussystem (VME) der Systemkontrolle.

Die Komponenten der Ablaufsteuerung (VMEAS) sind identisch mit den Komponenten des in Figur 5 gezeigten Datenflußplans, wobei die Ablaufsteuerung in dem in Figur 4 gezeigten Kontrollsystem zusätzlich ein digitales Eingangs-/Ausgangsmodule (DIO) und einen Ablaufsteuerungsrechner (ASR) aufweist. Im Therapiebereich (Cave M) befindet sich ein Positron-Emitter-Tomograph (PET) zur räumlichen Bestimmung der Teilchenreichweite durch Positronen emittierende Strahlung, mit der die Bestrahlungswirkung auf einen Patienten auf der Patientenliege nachgewiesen werden kann.

Die Ionenstrahlführung in den Therapiebereich (Cave M) hinein wird im unteren Bereich der Figur 4 prinzipiell dargestellt, wobei der Strahl für die örtliche Abtastung durch Scannermagnete für X und Y geführt wird, die mit Hilfe von Magnetstromnetzgeräten (MGM) des Rasterscanners den Strahl horizontal (X) und (Y) ablenken.

Nach dem Verlassen des Strahls nach dem letzten nichtgezeigten Ablenkungsmagneten wird der Strahl noch vor der Patientenliege durch eine Mehrzahl von Detektoren geführt, wobei eine Regelschleife über einen ersten ortsempfindlichen Detektor (MWPC1) auf die Magnetstromnetzgeräte (MGM) des Rasterscanners für dessen Scannermagnete wirkt, so daß die Strahlposition durch Nachführung von Strahlposition zu Strahlposition korrigiert werden kann oder durch Nachführen von Meßzyklus zu Meßzyklus oder innerhalb einer einzelnen Strahlposition während der Strahlextraktion korrigiert werden kann.

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird nun zusätzlich eine Regelschleife für das Quadrupoldoublett unmittelbar vor den Rasterscanmagneten für die horizontale (X) und die vertikale (Y) Richtung eingesetzt, wobei die Magnetstromnetzgeräte 18 des Quadrupoldoubletts für die horizontale und vertikale Richtung entsprechend angesteuert werden, indem eine Regelschleife Stromkorrekturwerte unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte 18 des unmittelbar vor dem Rasterscanner angeordneten Quadrupoldoubletts bereitstellt. Somit stellt dieser Hardwareüberblick eine weitere vorteilhafte Weiterentwicklung des Systems dar, wobei die wesentliche Neuerung in dem erfindungsgemäßen Strahlungssystem die Hinzunahme dieser Regelschleife ausgehend von der Vieldrahtionisationskammer (MWPC1) mit angeschlossenem Steuer- und Auslesem modul (SAM01) zum Steuer- und Auslesem modul (SAMD), welches die Meßdaten zur graphischen Darstellung be-

reitstellt und die Magnetstromnetzgeräte 18 des Quadrupol-doublletts unmittelbar vor den Rasterscanmagneten ansteuert, wodurch die Echtzeitnachregelung der Strahlbreite ermöglicht wird.

Figur 5 zeigt einen Datenflußplan eines Ausführungsbeispiels der Erfindung. Dabei dient der oberste Mikroprozessor in dem Ablaufsteuersystem (VMEAS) als Steuer- und Auslesem modul (SAMD) zur Online-Datenübertragung in den Datenspeicher (ODS) in der sich anschließenden und auf der rechten Seite der Bildhälfte der Figur 5 abgebildeten Systemkontrolle. Dieses Steuer- und Auslesem modul (SAMD) zur Online-Datenübertragung ist mit dem Datenspeicher (ODS) für eine Online-Anzeige über den Gerätebus verbunden, der ein differentieller Datenbus zwischen den Steuer- und Auslesem odulen und deren jeweiliger Front-End-Elektronik ist.

Der Datenspeicher (ODS) für eine Online-Anzeige liefert seine Daten entsprechend dem Datenflußplan nach Figur 5 über den Bus der Systemkontrolle (SK) und den Systemkontrollrechner in dem Bussystem (VME) zur Verbindung von Prozessoren und Datenmodulen einerseits an das Display und andererseits an das Ethernet unter Führung des Betriebssystems (AEX) in der Systemkontrolle.

In der Ausführungsform nach Figur 5 weist das Regelsystem in der Ionenstrahltherapie mindestens eine Ionisationskammer (IC1) auf, die der Intensitätsmessung des Ionenstrahls dient und die Ionenstrahlteilchenzahl aufaddiert, bis die Dosis für eine Strahlposition erreicht ist, so daß dann ein Befehl an den Steuer- und Auslesem odul (SAMP) für die Pulszentrale gegeben werden kann, die über die Pulszentralansteuerung (PZA) die Weicherschaltung auf die nächste Strahlposition veranlaßt, die dann über die Echtzeit-Nachregelungsschleife an die Magnetstromnetzgeräte (MGN) des Rasterscanners weitervermittelt wird. Das

Steuer- und Auslesemodul (SAMI1) ist schaltungs- und ablauf-technisch innerhalb der Ablaufsteuerung (VMEAS) vor dem Steuer- und Auslesemodul (SAM01) des ortsempfindlichen Detektors (MWPC1) angeordnet. Dieser Datenflußplan der Figur 5 zeigt somit ein Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Dabei sind innerhalb der Echtzeitsteuerung (VME-Crate) des Systems eine Reihe von Steuer- und Auslesemodulen (SAM) über Schnittstellen miteinander verbunden. Für das erfindungsgemäße Ausführungsbeispiel einer Regulationsanordnung sind die beiden SAMs relevant, welche den Ortsmeßdetektor 1 (SAM01) steuern und auslesen und das Modul zur Speicherung der Meßdaten (SAMD). Die Regelschleife geht von der Vieldrahtionisationskammer (MWPC1) mit angeschlossenem Steuer- und Auslesemodul (SAM01) zum Steuer- und Auslesemodul (SAMD), die dazwischenliegenden SAM-Module dienen lediglich dem Datentransfer von dem SAM01 zum SAMD. Letzteres verfügt sowohl über genügend freie Schnittstellen als auch über genügend Rechenleistung, um die Nachführung der Ionenstrahlbreite auszuführen.

Generell besteht bei diesem modular aufgebauten Kontrollsystem auch die Möglichkeit, ein nicht gezeigtes zusätzliches Steuer- und Auslesemodul in die Steueranordnung zu integrieren, welches ausschließlich die Funktion der Breitenregelung erfüllt. Die Kapazität der dargestellten Anordnung reicht jedoch vollständig aus, um die Zusatzaufgabe einer Breitenregelung des Ionenstrahls in Zusammenwirken mit den Magnetnetzgeräten 18 und einer Regelschleife zwischen dem SAMD, dem SAM01 und den Magnetnetzgeräten 18 der horizontalen und vertikalen Quadrupolmagneten 10 zu übernehmen.

**Bezugszeichenliste**

1	Tumorgewebe
2	gesundes Gewebe
3	Rand des Tumorgewebes
4	Zentrum des Tumorgewebes
5	Ablaufsteuersystem
6	Systemkontrolle
7	Bedienerführung
8	Sicherheitssystem
9	Randbereich
10	Quadrupolmagnete zur Horizontal- und Vertikal- Fokussierung
11 - 17	Steuerungs- und Auslesemodule
18	Magnetnetzgeräte
19	Ionenstrahl
20	Rasterscanmagnete
27	ODS (Datenspeicher)
28	SKR (Systemkontrollrechner)

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbestrahlung mit
  - einer Rasterscaneinrichtung aus Rasterscanmagneten (20) zur Rasterscannung des Ionenstrahls (19),  
**dadurch gekennzeichnet**, daß
  - die Ionenstrahlfleckgröße bestimmende Quadrupolmagnete (10), unmittelbar vor den Rasterscanmagneten (20) angeordnet sind, und die Vorrichtung
  - zwei Magnetstromnetzgeräte (18) des Quadrupoldoublets der die Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnete (10) aufweist, sowie
  - eine Regelschleife (21) aufweist, die Stromkorrekturwerte unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlenauszahlung für zwei Magnetstromnetzgeräte (18) des unmittelbar vor den Rasterscanmagneten (20) angeordneten Quadrupoldoublets, und eine definierte Homogenisierung und/oder eine definierte Variation der Strahlfleckgröße während der Strahlextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition bereitstellt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung eine Echtzeitsoftware aufweist zur Berechnung der Istwerte der Ionenstrahlbreite aus Detektorrohdaten.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung einen ortsempfindlichen Detektor (MWPC1) zur Erfassung der Ionenstrahlbreite und zur Erzeugung von Detektorrohdaten aufweist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung Steuer- und Auslesemodule (SAM01 und SAMD) und zugehörige Datenverbindungen aufweist, um Informationen über den Istwert von Ionenstrahlbreiten an ein Speicher-, Steuer- und Auslesem modul (SAMD) zur Speicherung der Meßdaten zu schicken.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Auslesem modul (SAMD) eine Anzahl freier Schnittstellen und eine Rechenleistung aufweist, über welche die Nachführung der Ionenstrahlbreite ausführbar ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung ein um ein Steuer- und Auslesem modul erweitertes Kontrollsystem aufweist, wobei durch das zusätzliche Steuer- und Auslesem modul ausschließlich die Funktion der Ionenstrahlbreitenregelung durchführbar ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung eine Regelschleife aufweist, die von einer Vieldrahtionisationskammer (MWPC1) mit angeschlossenem Steuer- und Auslesem modul (SAM01) ausgeht und zu einem Steuer- und Auslesem modul (SAMD) führt, das Meßdaten zur graphischen Darstellung bereitstellt und zwei Magnetstromnetzgeräte (18) zur horizontalen und vertikalen Fokussierung des Quadrupoldoublets unmittelbar vor den Rasterscanmagneten (20) ansteuert.

8. Verfahren zur Anpassung einer Ionenstrahlfleckgröße in der Tumorbehandlung, **gekennzeichnet durch** die Verfahrensschritte:
- dynamische Anpassung der Strahlfleckgröße in Echtzeit unter
  - Beaufschlagen des strahlgrößenbestimmenden Quadrupolmagneten (10) mit Sollwerten für unterschiedliche Ionenstrahlgrößen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Beschleunigerzyklen oder innerhalb eines Beschleunigungszyklus mittels einstellbarer Frequenz,
  - Gewinnung von Stromkorrekturwerten unter Vergleich von Soll- und Istwerten einer aktuellen Strahlausdehnung für zwei Magnetstromnetzgeräte (18) des Quadrupol-doublets der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagneten (10) zur definierten Homogenisierung und/oder zur definierten Variation der Ionenstrahlfleckgröße während der Strahlextraktion und/oder von Meßzyklus zu Meßzyklus und/oder von Strahlposition zu Strahlposition,
  - Bestrahlen eines Tumorgewebes (1) mit einem dichteren Ionenstrahlpositionsraster bei gleichzeitig geringerer Ionenstrahlfleckgröße im Randbereich (3) als im Volumenbereich (4) des Tumors.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strahlhalbwidthsbreite dem Ionenstrahlpositionsraster in der Weise angepaßt wird, daß bei feinem Ionenstrahlpositionsraster im Randbereich (3) eine geringere Strahlhalbwidthsbreite eingestellt wird, als im Volumenbereich (4) des Tumors mit einem groben Ionenstrahlpositionsmuster.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß für jeden Meßzyklus eine Echtzeitsoftware in



einem Steuer- und Auslesem modul (SAM01) einer Violdrahtionisationskammer (MWPC1) den Istwert der Ionenstrahlbreite aus den Detektorrohdaten der Violdrahtionisationskammer (MWPC1) errechnet.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß Informationen der Strahlbreite an das Modul (SAMD) zum Speichern der Meßdaten sowie zum Steuern und Auslesen geliefert werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß in dem Modul (SAMD) zum Speichern, Steuern und Auslesen der Istwert der Ionenstrahlfleckgröße mit der Information über den Sollwert der Ionenstrahlfleckgröße aus einem Bestrahlungsplan in Echtzeit verglichen wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Korrekturwert für Magnetnetzgeräte (18) der Quadrupoldoublette der Ionenstrahlfleckgröße bestimmenden Quadrupolmagnete (10) einer Hochenergiestrahlführung unmittelbar vor dem Rasterscanner ermittelt und eingestellt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß von Meßzyklus zu Meßzyklus eines Ortsmeßsystems und von einer Ionenstrahlposition im Bestrahlungsplan zur nächsten Ionenstrahlposition eine Korrektur oder Neueinstellung erfolgt.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Einstellen der Frequenz für eine Nachführung der Ionenstrahlbreite in Form eines Parameters

einer Echtzeitsoftware, welche die Korrekturwerte für das Quadrupoldoublett ermittelt, durchgeführt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Nachführung der Ionenstrahlbreite einstellbar gedämpft wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß Schwellenwerte für die Ionenstrahlbreite festgelegt werden.

## Bezugszeichenliste

1	Tumorgewebe
2	gesundes Gewebe
3	Rand des Tumorgewebes
4	Zentrum des Tumorgewebes
5	Ablaufsteuersystem
6	Systemkontrolle
7	Bedienerführung
8	Sicherheitssystem
9	Randbereich
10	Quadrupolmagnete zur Horizontal- und Vertikal-Fokussierung
11	Steuerungs- und Auslesemodul SAMI1
12	Steuerungs- und Auslesemodul SAMI2
13	Steuerungs- und Auslesemodul SAMP
14	Steuerungs- und Auslesemodul SAMO1
15	Steuerungs- und Auslesemodul SAMS
16	Steuerungs- und Auslesemodul SAMO2
17	Steuerungs- und Auslesemodul SAMD
18	Magnetnetzgeräte für horizontale und vertikale Quadrupole
19	Ionenstrahl
20	Rasterscanmagnete
27	ODS (Datenspeicher)
28	SKR (Systemkontrollrechner)
29	Beschleuniger Operating-Konsole im TKR
30	Beschleuniger-Ethernet
31	Technischer Kontrollraum Therapie, TKR
32	Ethernet-Router
33	Barcode-Leser, BCL
34	Therapie Operating-Rechner, TORT
35	Bedienungselemente Terminals
36	Technische Operating-Konsole Therapie
37	Medizin Bedienerkonsole, MBDK
38	Therapie Operating-Rechner, TORM
39	Ethernet-Bridge
40	Therapie-Ethernet
41	Analog-/Digital-IO Modul, ADIO
42	Kontrollbusadapter, KBA
43	Interlockeinheit, ILE
44	Totmanneinheit, TME
45	Intensitätsmonitor, IMON
46	Ablaufsteuerungsrechner, ASR
47	Digital-IO-Modul, DIO
48	Therapie Cave M
49	getrennte Magnetnetzgeräteansteuerung zum Strahlabbruch des Beschleunigers (S02KQ1E und TH3MU1)
50	zur Pulszentrale des Beschleunigers, PZA
51	PET Kamera
52	Beschleunigerstrahlführung in das Cave M
53	Patientenliege
54	Mini-Ridge Filter
55	Ionisationskammer für Intensitätsmonitor
56	Vieldrahtkammer (Multi-Wire Proportional Chamber, MWPC)
57	Ionisationskammer zur Intensitätsmessung (IC)

Fig. 1

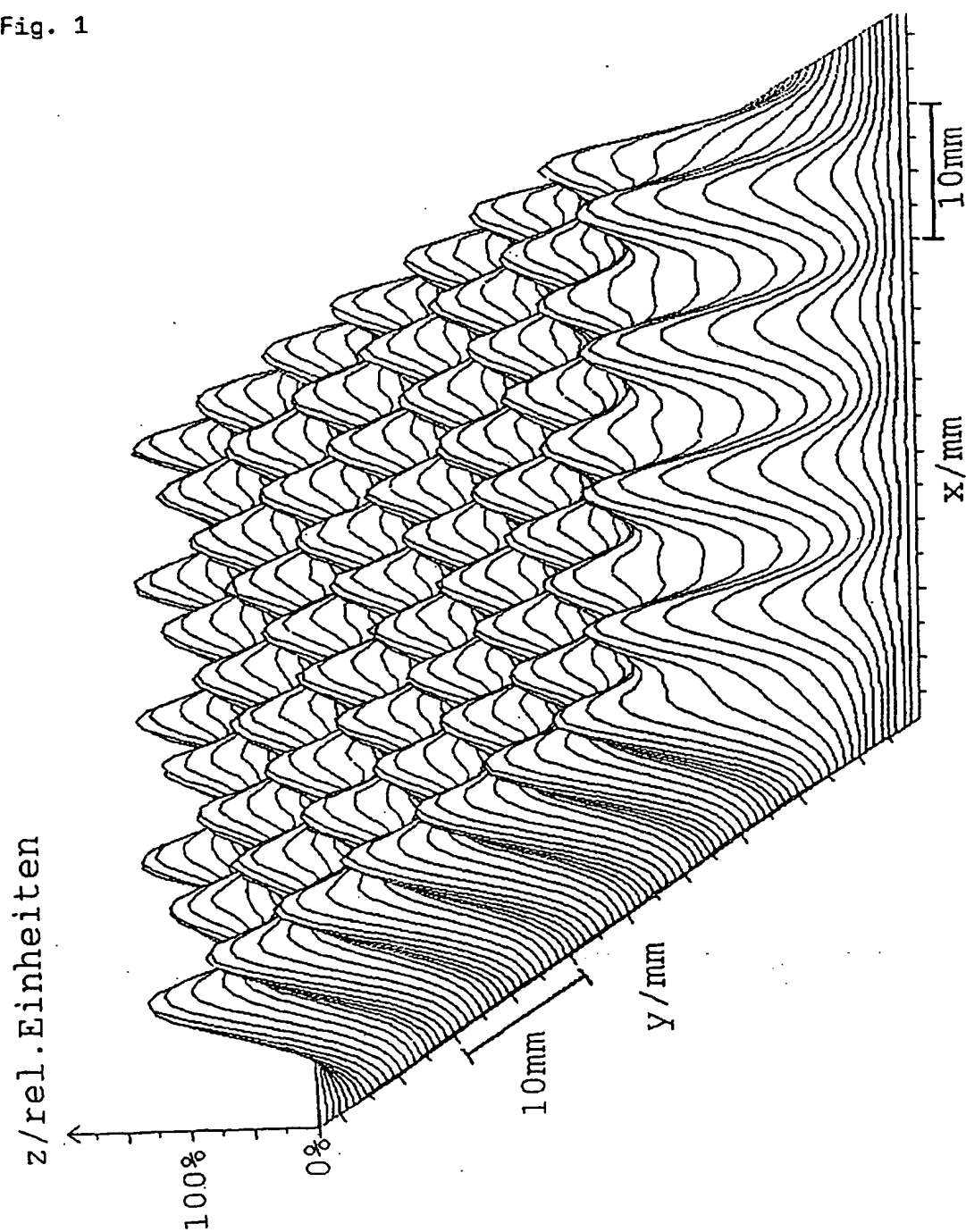
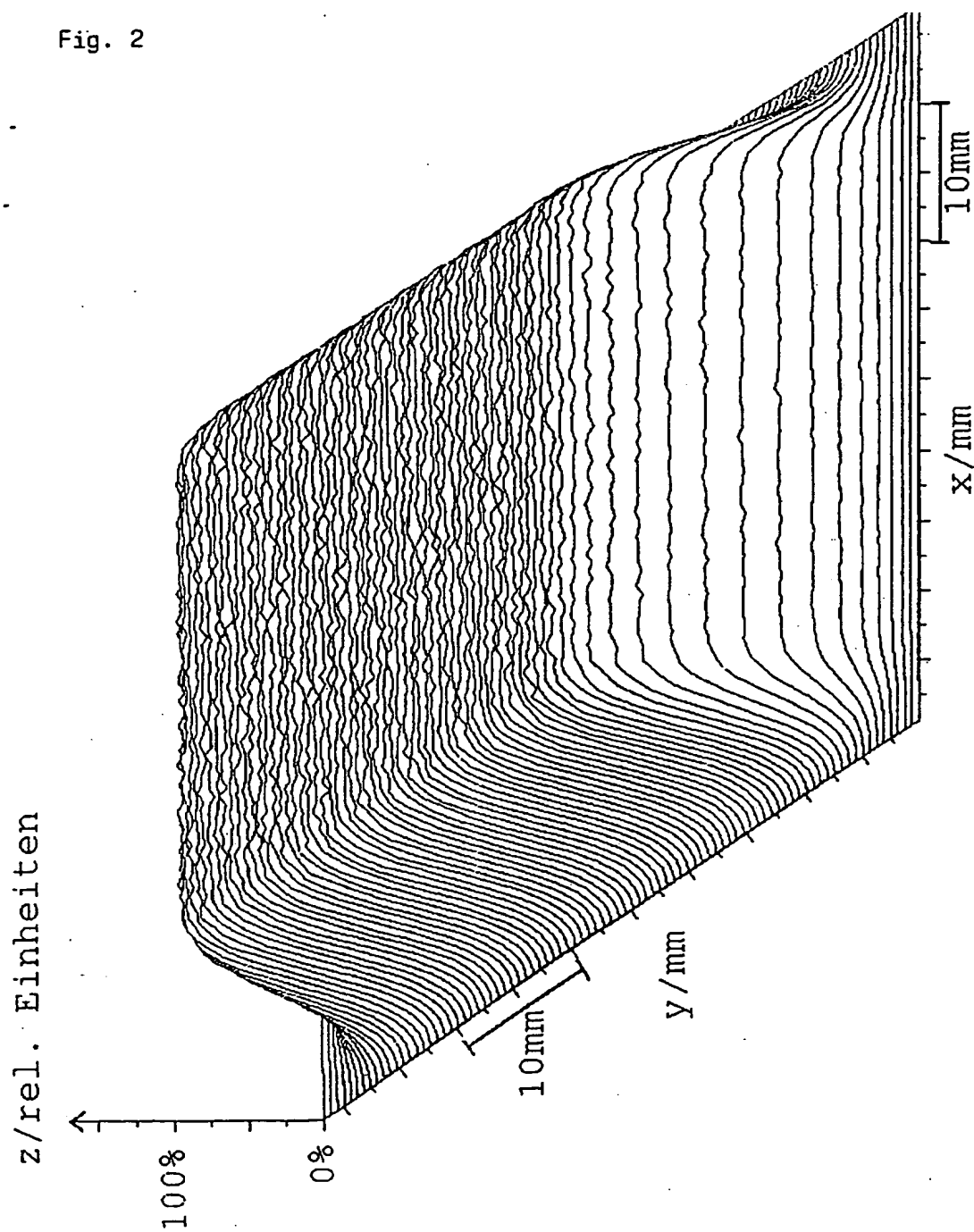
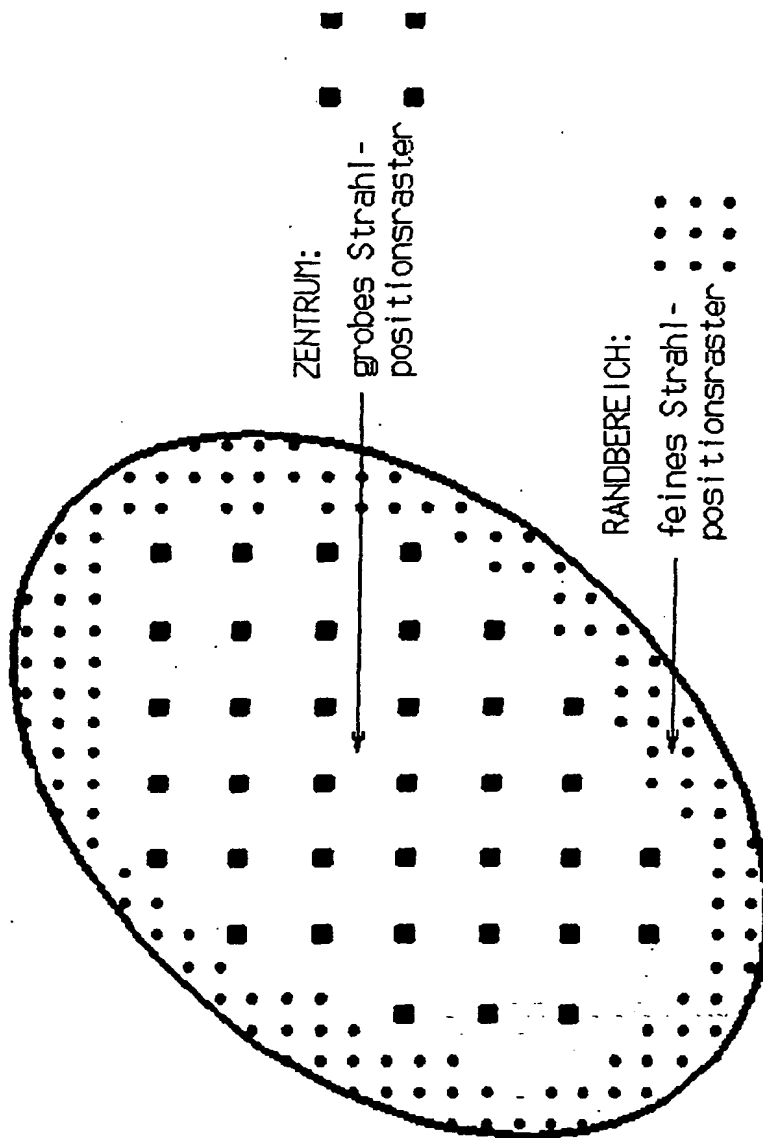
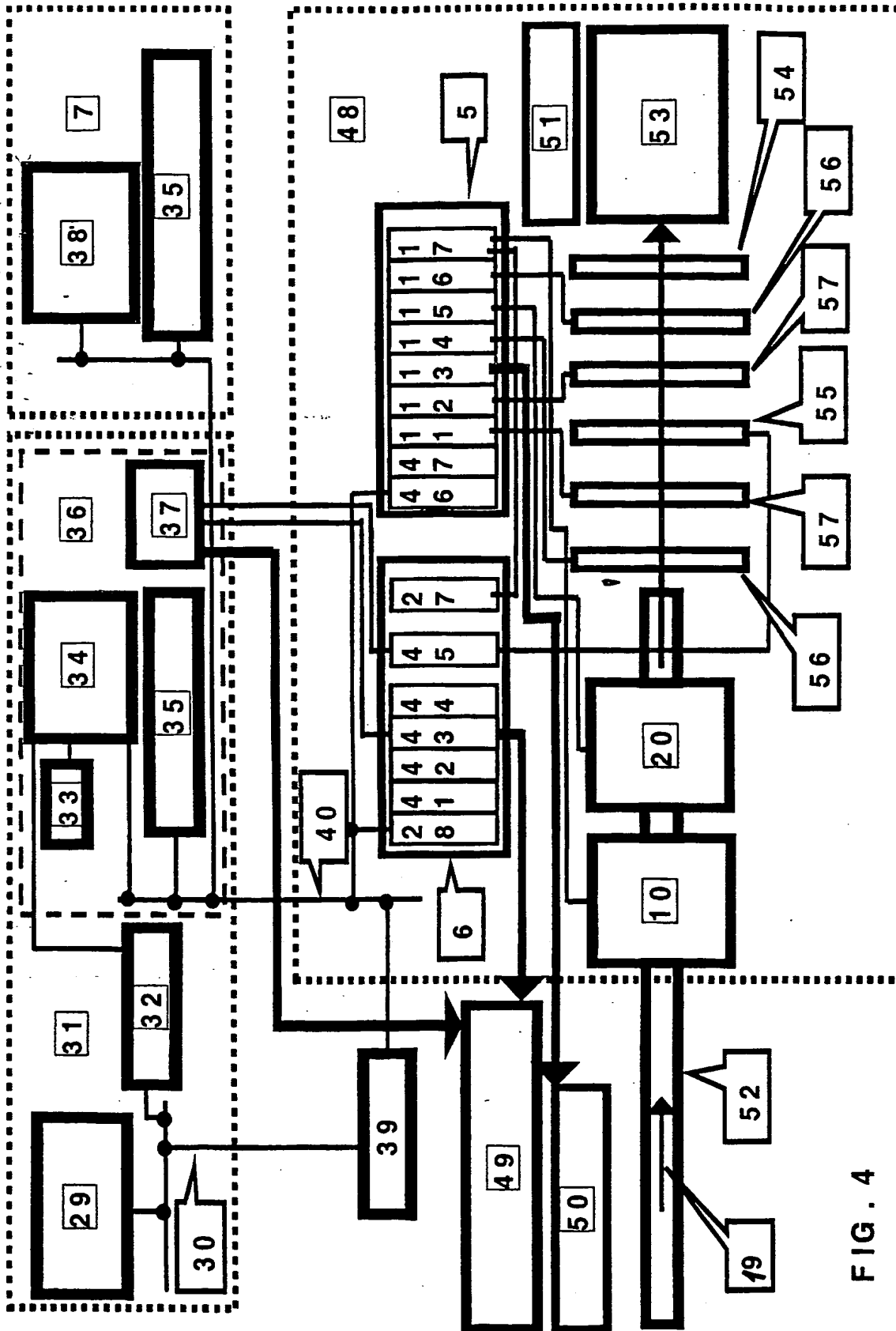


Fig. 2







**FIG. 4**

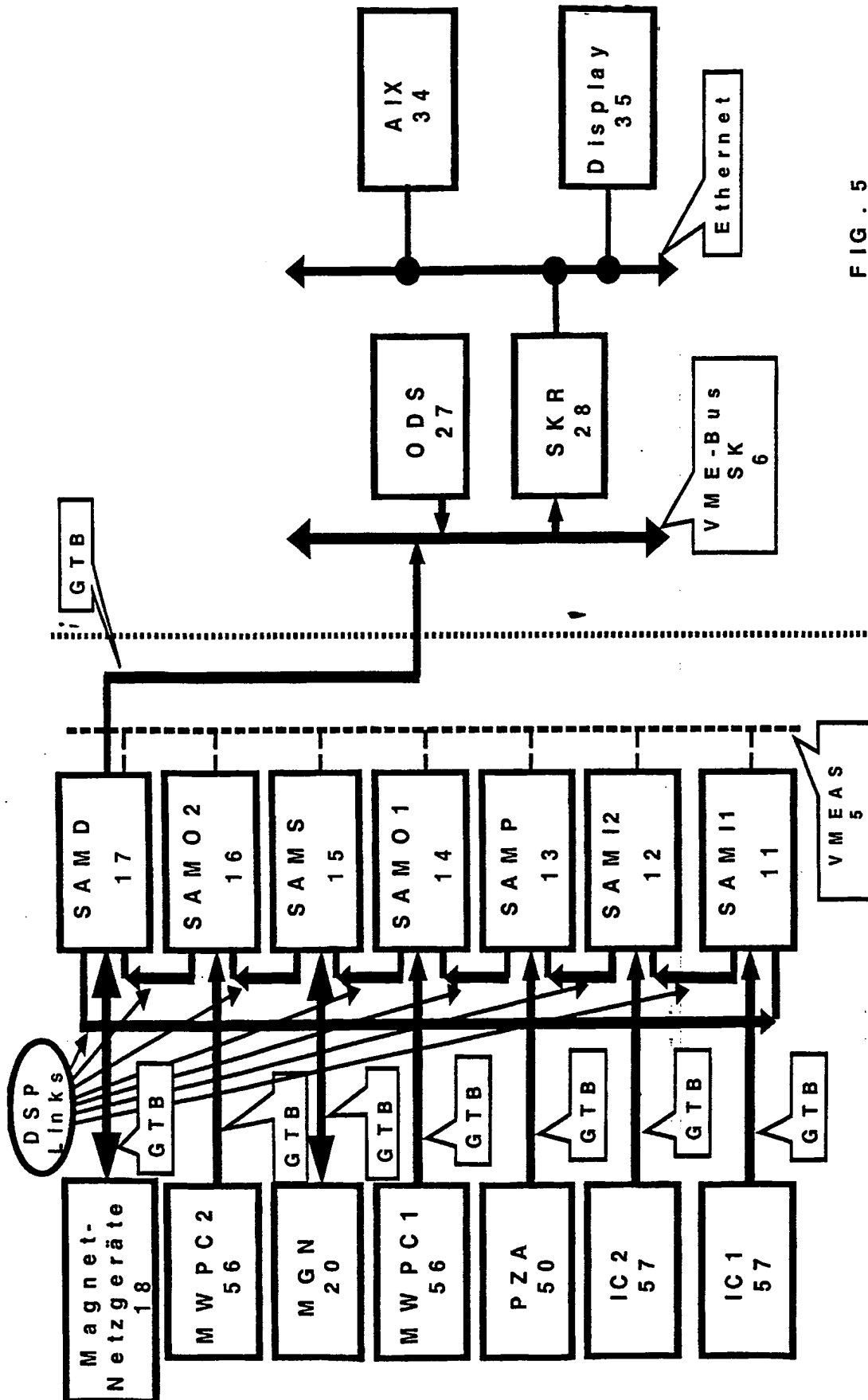


FIG. 5



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter nal Application No

PC 1 / P 01/13571

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 A61N5/10 G21K 004

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 A61N G21K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 041 579 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 4 October 2000 (2000-10-04) page 2, line 37 - line 58 page 6, line 12 - line 31 claim 1; figure 1	1-7
Y	EP 1 045 399 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 18 October 2000 (2000-10-18) the whole document	1-7
A	EP 0 986 070 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 15 March 2000 (2000-03-15) page 1, line 38, paragraph 9 - line 43 page 8, line 55, paragraph 59 - page 9, line 4 figure 6	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 March 2002

Date of mailing of the international search report

20/03/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Petter, E

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PC 01/13571

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 35 209 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 10 February 2000 (2000-02-10) cited in the application figure 2 -----	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

relation on patent family members

International Application No

PC 1 / EP 01/13571

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1041579	A	04-10-2000	EP 1041579 A1 04-10-2000
		WO 0060611 A1 12-10-2000	
		EP 1166280 A1 02-01-2002	
EP 1045399	A	18-10-2000	EP 1045399 A1 18-10-2000
		AU 4539900 A 14-11-2000	
		BR 0006029 A 13-03-2001	
		CN 1302440 T 04-07-2001	
		WO 0062307 A1 19-10-2000	
EP 0986070	A	15-03-2000	EP 0986070 A1 15-03-2000
		BR 9913594 A 12-06-2001	
		WO 0016342 A1 23-03-2000	
		EP 0986071 A2 15-03-2000	
		EP 1112579 A1 04-07-2001	
DE 19835209	A	10-02-2000	DE 19835209 A1 10-02-2000
		EP 0978294 A2 09-02-2000	

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PC 01/13571

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 IPK 7 A61N5/10 G21K5/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 A61N G21K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
Y	EP 1 041 579 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 4. Oktober 2000 (2000-10-04) Seite 2, Zeile 37 - Zeile 58 Seite 6, Zeile 12 - Zeile 31 Anspruch 1; Abbildung 1	1-7
Y	EP 1 045 399 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 18. Oktober 2000 (2000-10-18) das ganze Dokument	1-7
A	EP 0 986 070 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 15. März 2000 (2000-03-15) Seite 1, Zeile 38, Absatz 9 - Zeile 43 Seite 8, Zeile 55, Absatz 59 - Seite 9, Zeile 4 Abbildung 6	1
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. März 2002

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/03/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Petter, E

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESCHENNE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
A	DE 198 35 209 A (SCHWERIONENFORSCH GMBH) 10. Februar 2000 (2000-02-10) in der Anmeldung erwähnt Abbildung 2 -----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung

die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/01/13571

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 1041579	A	04-10-2000	EP	1041579 A1	04-10-2000
			WO	0060611 A1	12-10-2000
			EP	1166280 A1	02-01-2002
EP 1045399	A	18-10-2000	EP	1045399 A1	18-10-2000
			AU	4539900 A	14-11-2000
			BR	0006029 A	13-03-2001
			CN	1302440 T	04-07-2001
			WO	0062307 A1	19-10-2000
EP 0986070	A	15-03-2000	EP	0986070 A1	15-03-2000
			BR	9913594 A	12-06-2001
			WO	0016342 A1	23-03-2000
			EP	0986071 A2	15-03-2000
			EP	1112579 A1	04-07-2001
DE 19835209	A	10-02-2000	DE	19835209 A1	10-02-2000
			EP	0978294 A2	09-02-2000

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

This page Blank (uspto)